



TUGAS AKHIR - TM 095502

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI
TERHADAP EFEKTIVITAS PENGGUNAAN
KALOR OVEN ENERGI LISTRIK UNTUK PROSES
PENGERINGAN DAUN KERSEN**

**RAMADHANA KURNIA PUTRA W
2114030067**

**Dosen Pembimbing
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
19610602 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - TM 095502

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI
TERHADAP EFEKTIVITAS PENGGUNAAN
KALOR OVEN ENERGI LISTRIK UNTUK PROSES
PENGERINGAN DAUN KERSEN**

RAMADHANA KURNIA PUTRA W
NRP 2114 030 067

Dosen Pembimbing
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
19610602 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT - TM 095502

**EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT SPEED AIR
FLOWS VENTILATION TO EFFECTIVENESS
CALOR BASED ON ELECTRIC ENERGY OVEN
FOR DRYING PROCESS MUNTINGIA
CALABURA LEAVES**

**RAMADHANA KURNIA PUTRA W
NRP 2114 030 067**

**Conselor Lecturer :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
19610602 198701 1 001**

**MECHANICAL INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Vocational
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI TERHADAP EFEKTIVITAS PENGGUNAAN KALOR OVEN ENERGI LISTRIK UNTUK PROSES PENGERINGAN DAUN KERSEN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RAMADHANA KURNIA PUTRA W
NRP 2114 030 067

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP. 19610602 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2017

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI TERHADAP EFEKTIVITAS PENGUNAAN KALOR OVEN ENERGI LISTRIK UNTUK PROSES PENGERINGAN DAUN KERSEN

Nama Mahasiswa : Ramadhana Kurnia Putra W
NRP : 2114 030 067
Jurusan : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

Abstrak

Proses pengeringan adalah salah satu cara mengawetkan obat-obat herbal tanpa bahan pengawet kimia. Majunya teknologi membuat proses pengeringan tidak hanya menggunakan cara konvensional yakni dengan cara dijemur dibawah sinar matahari, tetapi menggunakan oven pengering.

Untuk mengetahui kinerja oven pengering maka dilakukan percobaan proses pengeringan daun kersen. Percobaan dilakukan dengan variasi lamanya proses pengeringan. Oven yang digunakan dalam percobaan adalah oven yang menggunakan sumber panas listrik. Di dalam ruang oven disusun rak yang sekaligus berfungsi sebagai pengarah aliran udara di dalam oven. Oven juga dilengkapi dengan semacam cerobong yang berfungsi untuk menghasilkan sirkulasi udara secara alamiah.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk proses pengeringan selama 3 jam didapatkan Qin sebesar 1.815 Wattjam, Qevap yang dihasilkan yaitu 35,115 Watt, sehingga dihasilkan Efektivitas oven sebesar 46,85%. Semakin cepat oven berjalan, maka semakin baik efektivitasnya.

***Kata Kunci : Proses Pengeringan, Waktu Pengeringan,
Efisiensi Oven***

**EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT SPEED AIR FLOWS
VENTILATION TO EFFECTIVENESS CALOR BASED ON
ELECTRIC ENERGY OVEN FOR DRYING PROCESS
MUNTINGIA CALABURA LEAVES**

Name Of Student : Ramadhana Kurnia Putra W
NRP : 2114 030 067
Department : Mechanical Industrial Engineering
Conselor Lecturer : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

Abstract

Drying process to preserve herbal medicines without chemical preservatives. The risen development of technology not only exposed to sun light but also used drying oven.

To know the performance of drying oven, experiment has been conducted to dried cherry leafs. The experiments were carried out with variations in the duration of the drying process. The oven used in the experiment is an oven that uses an electric heat source. Inside the oven installed some tray which also serves as a buffel to direct the air flow in the drying oven. There is all also mounted a kind to generate natural draft.

From the experimental results show that for 3 hours duration of drying process consume energy 1,815 Watthours, with Qevap generated is 35.115 Watts, and the effectiveness 46.85%. The shorter the oven time, the better effectiveness.

Keywords: Drying Process, Drying Time, Effectiveness of Oven

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

“ STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI TERHADAP EFEKTIVITAS PENGGUNAAN KALOR OVEN ENERGI LISTRIK UNTUK PROSES PENGERINGAN DAUN KERSEN ”

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara moril dan materi, sehingga dalam pembuatan laporan ini, saya dengan hormat mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan saran, masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Ir. Eddy Widiyono, MT selaku Dosen Wali.
5. Tim Dosen Penguji yang telah menguji dan banyak memberi masukan agar Tugas Akhir ini menjadi lebih baik.
6. Orang tua, Ibu Ninik Artiningsih, Bapak Bambang Wijayanto dan kakak Kartika Puspa Wijayanti yang senantiasa memberikan do'a restu, kasih sayang dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Mohammad Riduwan sebagai partner dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Mas Sapto Wisasno yang selalu membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

9. Teman kos keputih makam dan teman teman praktikan Heat Exchanger yang selalu memberikan semangat dan dukungan secara moral dan senantiasa menemani dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman tim mobil listrik Nogogeni yang telah memberi semangat dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 atas kebersamaannya selama kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
12. Semua pihak yang belum saya sebutkan yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih begitu banyak kekurangannya, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Metode Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penjelasan Umum tentang Daun Kersen.....	7
2.1.1Manfaat Daun Kersen	8
2.2 Pengertian Perpindahan Panas.....	10
2.2.1Perpindahan Panas Konduksi	11
2.2.2Perpindahan Panas Konveksi	16
2.3 Aliran Laminer dan Turbulen	24
2.3.1 Rapat Massa dan Volume Spesifik.....	26
2.3.2 Kalor Spesifik	26
2.3.3 Perpindahan Massa	26
2.4 Kekekalan Energi.....	27
2.4.1 Kekekalan Energi Volume Atur	27
2.4.2 Keseimbangan Energi Permukaan.....	28
2.5 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten.....	29
2.5.1 Kalor Sensible.	29
2.5.2 Kalor Laten.....	29
2.6 Proses Pengeringan	31

2.7 Natural Draft.....	33
------------------------	----

BAB III METODOLOGI

3.1 Fixasi Desain Alat dan Dimensi Alat.....	37
3.2 Persiapan Awal	39
3.3 Diagram Alir Tugas Akhir.....	39
3.3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	39
3.3.2 Diagram Alir Perhitungan Sistem	39
3.4 Prosedur Percobaan	43
3.4.1 Pengujian.....	43
3.4.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian.	43
3.5 Tata Cara Pengujian.....	47
3.5.1 Tahap Persiapan.....	47
3.5.2 Tahap Pengambilan Data	49
3.5.3 Tahap Setelah Pengujian.....	49
3.5.4 Tahap Pengolahan Data	50
3.6 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir.....	51

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan dengan Oven	53
4.2 Data Spesifikasi Alat	53
4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven.....	55
4.3.1 Perhitungan Qloss (W) Pada Jenis Material Yang Digunakan.....	55
4.3.2 Perhitungan Qsensibel (W) yang Masuk ke Sistem...	68
4.3.3 Perhitungan Qeksfiltrasi (W) yang keluar melalui cerobong.....	71
4.3.4 Perhitungan Laju Perpindahan Panas Untuk Menghilangkan Kadar Air Dalam Daun Kersen (Q_{evap})	70
4.3.5 Perhitungan Qloss (W) pada ruang bakar oven	71
4.3.6 Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor Pada Oven	78
4.3.7 Perhitungan Biaya yang Digunakan pada Proses Pengeringan	79

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan..... 83

5.2 Saran..... 84

DAFTAR PUSTAKA..... 85

LAMPIRAN

BIODATA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Tanaman Kersen	7
Gambar 2.2 Daun Kersen	8
Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan Radiasi	10
Gambar 2.4 Perpindahan Panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler.....	11
Gambar 2.5 Konduksi satu dimensi steady state.....	13
Gambar 2.6 Perpindahan Panas pada Dinding Datar	13
Gambar 2.7 Distribusi kecepatan dan distribusi temperature..	17
Gambar 2.8 Perpindahan Panas Konveksi.....	21
Gambar 2.9 Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar	24
Gambar 2.10 Kekekalan energi volume atur	27
Gambar 2.11 Kekekalan energi permukaan sebuah media.	28
Gambar 2.12 Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air.....	29
Gambar 2.13 Draft yang dihasilkan dari cerobong asap	34
Gambar 3.1 Gambar tampak depan dan samping oven Pengering Daun Kersen	37
Gambar 3.2 Gambar penampang rak dan Ruang Bakar oven Pengering Daun Kersen	38
Gambar 3.3 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	40
Gambar 3.4 Diagram alir perhitungan tugas akhir	42
Gambar 3.5 Ruang Pemanas.....	43

Gambar 3.6 Thermometer.....	44
Gambar 3.7 Anemometer	44
Gambar 3.8 Timbangan Digital	45
Gambar 3.9 Hygrometer	45
Gambar 3.10 Tachometer	46
Gambar 3.11 Wattmeter	47
Gambar 3.12 Penataan Daun Kersen pada rak.....	48
Gambar 3.13 Ruang Pengapian	48
Gambar 3.14 Flow Chart Perhitungan Tugas Akhir.....	52
Gambar 4.1 Neraca Kalor pada proses pengeringan dengan oven	55
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian	83

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Koefisien Konveksi.	68
Tabel 4.2 Data Perhitungan $Q_{\text{lossdindingtotal}}$	69
Tabel 4.3 Data Perhitungan Q_{sensibel}	71
Tabel 4.4 Data Perhitungan $Q_{\text{eksfiltrasi}}$	71
Tabel 4.5 Data Perhitungan $Q_{\text{evaporasi}}$	71
Tabel 4.6 Data Perhitungan Q_{loss} ruang bakar.....	80
Tabel 4.7 Data Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor pada Oven dengan Variasi Kecepatan Aliran Udara	81
Tabel 4.6 Data Perhitungan Biaya yang dibutuhkan setiap Proses Pengeringan.....	73

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini teknologi berkembang pesat berupa alat – alat yang diciptakan dengan menggunakan teknik baru dalam penyelesaian masalahnya. Dengan adanya alat – alat tersebut tentu mempermudah dalam hal tertentu dalam pekerjaan manusia. Dalam hal ini teknologi yang baru ditemukan memiliki kerja makin spesifik di bidang pekerjaan tertentu.

Tidak terkecuali dalam bidang pengolahan obat-obatan tradisional, banyak industri rumahan yang masih menggunakan sistem konvensional untuk mengeringkan hasil tanaman obat-obatan mereka. Cara ini tidak cukup efektif karena untuk mengeringkan hasil dari bahan obat akan memakan waktu yang cukup lama. Seperti contohnya daun kersen, daun ini membutuhkan waktu pengeringan yang cukup lama yaitu kurang lebih selama 2-3 hari yang dijemur di bawah terik sinar matahari dalam kondisi langit yang cerah. Namun apabila kondisi cuaca tidak mendukung, proses pengeringan daun kersen ini akan membutuhkan waktu yang lebih panjang, yaitu kurang lebih 1 minggu proses pengeringan.

Akan ada banyak hal yang akan merasakan kerugian yang terjadi sebagai dampak dari proses pengeringan yang terlalu lama. Dalam teknologi pengeringan makanan oven adalah alat yang paling menjanjikan, namun tentunya tiap oven memiliki teknik dan kemampuan pengeringannya tersendiri. Salah satu keunggulan terbaik oven adalah penggunaan alat ini tidak bergantung waktu dan tempat, tentunya alat ini adalah opsi terbaik dalam bidang pengeringan makanan yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Namun oven yang ada tentunya memiliki titik kemampuan teroptimal dalam mengeringkan produk.

Meningkatnya produksi olahan daun kersen tidak lepas dari banyak penelitian tentang kandungan atau manfaat dari tanaman ini. Namun sejauh ini yang banyak diolah menjadi makanan adalah buahnya, padahal banyak kandungan nutrisi dari daun kersen diantaranya memiliki senyawa flavonoid, zat

alkaloid, protein, kalsium, zat besi, zat anti septik, anti inflamasi, dan vitamin C sebagai anti ioksidan yang tinggi. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai jual daun kersen dengan memanfaatkannya sebagai minuman dari daun kersen yang telah dikeringkan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, rumusan masalah yang diangkat adalah:

1. Berapa besar pengaruh kecepatan aliran udara ventilasi terhadap waktu pengeringan
2. Berapa persen efektifitas penggunaan kalor dalam oven

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan mengacu pada latar belakang dan permasalahan diatas maka tujuan penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Menghitung panas yang masuk ke pengering
2. Menghitung kerugian panas yang dibuang oven pengering melalui cerobong (Q eksfiltrasi)
3. Menghitung energi panas yang digunakan untuk menguapkan kadar air pada saat proses pengeringan di dalam oven (Q evaporasi)
4. Menghitung laju pengeringan yang terjadi pada oven
5. Menghitung efektivitas penggunaan kalor pada oven

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penulisan tugas akhir ini yaitu:

Kita dapat mengetahui kemampuan oven untuk mengeringkan produk yang kita kehendaki dalam durasi waktu yang berbeda, selain itu kita juga bisa mengetahui kemampuan dari oven dalam mengeringkan bahan dalam tingkatan bukaan cerobong yang berbeda.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperkecil ruang lingkup dan untuk memudahkan dalam analisis masalah dibutuhkan adanya pembatasan masalah. Batasan masalah yang dipergunakan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Dalam perhitungan diasumsikan:
 - Kondisi steady state
 - Kondisi aliran uniform
 - Aliran fluida didalam oven diasumsikan *external flow*
 - Efek radiasi diabaikan
 - Temperatur pada permukaan plat dianggap merata
 - Temperatur udara di dalam oven pengering dianggap merata sesuai nilai rata-rata temperature tiap tingkatan
 - Temperatur udara diluar oven pengering dianggap konstan
2. Tidak membahas serta mengubah laluan dalam oven
3. Tidak membahas rancangan konstruksi alat dan instrumen kontrol
4. Hanya membahas proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara umum.
5. Menggunakan 5 variasi waktu terhadap massa konstan. 300 gram dengan waktu 3,4,5,6,7 (dalam jam)
6. Perhitungan di dalam oven menggunakan metode pendekatan aliran eksternal.

1.6 Metode Penelitian

Metode penulisan tugas akhir yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian di dalam tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur

Untuk pengenalan dan pembelajaran dasar-dasar teori yang mengacu pada tema dari tugas akhir ini. Diperoleh dengan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal, dan buku tugas akhir lainnya yang berhubungan dengan

perpindahan panas dengan tujuan mendapatkan dasaran untuk memulai analisis dan perhitungan.

2. Penentuan Bahan

Dalam tahapan ini studi literatur juga dilakukan melalui internet, buku, dan lingkungan sekitar. Juga mengenali manfaat dan tujuan dalam penggunaan bahan tersebut, serta cara dan ketersediaannya. Melalui berbagai pertimbangan akhirnya diperoleh bahan daun kersen.

3. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Dalam penulisan tugas akhir setelah melakukan pengujian dilakukan konsultasi dengan dosen pembimbing, secara rutin mengenai perkembangan yang telah dicapai.

4. Studi Laboratorium

Melakukan pengujian di Workshop Teknik Mesin Industri FV-ITS dengan perlengkapan mesin dan alat ukur yang telah tersedia untuk mendapatkan dan mengolah data-data yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian.

5. Analisis Data

Setelah pengujian produk di dalam oven, data –data yang diperoleh secara actual digunakan untuk mengetahui perhitungan Q_{in} , Q_{loss} , $Q_{evaporasi}$, $Q_{sensible}$, $Q_{eksfiltrasi}$, η_{oven} , dan Biaya Operasional

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis berharap agar pemikiran dalam buku ini bisa difahami oleh orang lain maka disusunlah sistematika secara umum :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan penyusunan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian dan perhitungan yang digunakan sebagai dasaran dalam

analisis serta koreksi data yang telah diperoleh guna mencapai tujuan penelitian.

BAB III : METODOLOGI

Berisi tentang metode dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian baik alat alat utama maupun alat-alat penunjang dan juga berisi tentang prosedur-prosedur pengujian.

BAB IV : ANALISIS PERHITUNGAN

Berisi data-data hasil pengujian yang telah didapatkan dari proses penelitian dan proses perhitungan sampai menemukan hal apa yang menjadi tujuan dalam penelitian.

BAB V : KESIMPULAN

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini akan didapatkan suatu kesimpulan yang menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan sebelumnya dan berkaitan pada tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Penjelasan Umum tentang Daun Kersen

Kersen adalah nama sejenis pohon dan buahnya yang kecil dan manis. Di beberapa daerah, seperti di Jakarta, buah ini juga dinamai ceri. Nama-nama lainnya di beberapa negara adalah: datiles, aratiles, manzanitas (Filipina), khoom sômz, takhôm (Laos), krâkhôm barang (Kamboja); dan kerukup siam (Malaysia). Juga dikenal sebagai capulin blanco, cacaniqua, nigua, niguito (bahasa Spanyol), Jamaican cherry, Panama berry, Singapore cherry (Inggris) dan Japanse kers (Belanda), yang lalu dari sini diambil menjadi kersen dalam bahasa Indonesia. Nama ilmiahnya adalah *Muntingia calabura* L. Klasifikasi tanaman ini adalah sebagai berikut:

Klasifikasi Ilmiah	
Kerajaan	Plantae
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Magnoliopsida
Ordo	Malvales
Keluarga	Muntingiaceae
Genus	Muntingia
Spesies	M.calabura

Gambar 2.1 Klasifikasi Tanaman Kersen

Kersen atau talok adalah sejenis tanaman perdu yang bisa setinggi 12 meter, walau rata-rata hanya antara 1 meter dan 4 meter . Cabang pohon mendatar dan membentuk naungan rindang. Jika masak buah berwarna merah, sedangkan saat masih muda berwarna hijau. Rasanya manis, memiliki banyak biji kecil seperti pasir. Daun berbentuk bulat telur sepanjang antara 2,5 cm dan 15 cm, lebar antara 1 cm dan 6,5 cm, dengan tepi daun

bergerigi, ujung runcing, dan struktur berseling. Warna daun hijau muda dengan bulu rapat pada bagian bawah daun. Bunga berwarna putih dan akan menghasilkan buah berukuran kecil antara 1 cm dan 1,5 cm dan berwarna merah. Di dalam buah banyak biji kecil berukuran 0,5 mm berwarna kuning.



Gambar 2.2 Daun Kersen

Manfaat daun kersen mungkin belum terlalu populer sebagai obat untuk berbagai macam penyakit namun manfaat dari buah kersen telah dikenal dikalangan masyarakat luas. Buah kersen biasa digunakan untuk tambahan masakan / minuman. Daun kersen memang memiliki karakteristik unik, namun tanaman ini menyimpan banyak manfaat. Terlebih lagi pada bagian daunnya yang baik untuk kesehatan tubuh.

2.1.1 Manfaat Daun Kersen

Terdapat banyak sekali kandungan daun kersen yang nyatanya sangat baik bagi kesehatan diantaranya seperti flavonoid (termasuk di dalamnya zat biflavan, flavan, flavanone dan falavone), vitamin C, alkaloid, tanin, saponin, protein, kalsium, zat besi, lemak tak jenuh ganda, karbohidrat, fosfor, zat antioksidan, antiinflamasi, antikanker dan tumor serta zat anti septik yang kuat dalam melindungi luka dan peradangan.

Meski manfaat daun kersen tidak sepopuler manfaat daun lainnya, namun nyatanya khasiat daun kersen pun tak kalah

istimewanya dengan manfaat daun-daun lainnya. Tubuh manusia dapat menuai beberapa manfaat kesehatan dengan meminum teh yang terbuat dari daun kersen ini, berikut ulasannya :

1. Manfaat daun kersen untuk diabetes

Sejak zaman dahulu, daun kersen telah di gunakan sebagai pengobatan untuk gula darah tinggi untuk diabetes. Bahkan banyak para ahli yang telah melakukan penelitian akan hal ini, seperti salah satunya yang di ungkapkan oleh Suharjono yang merupakan salah satu dosen di Fakultas kedokteran UNDIP, yang menyatakan 'Daun kersen mengandung saponin serta flavonoid yang memiliki peranan penting sebagai antioksidan sehingga mampu mengekresi hormon insulin yang di butuhkan oleh tubuh untuk kebutuhan metabolisme gula'.

2. Manfaat daun kersen untuk mencegah perkembangan tumor

Khasiat daun kersen yang luar biasa lainnya adalah mencegah penyakit serius seperti mencegah perkembangan tumor. Hal tersebut di karenakan dalam daun kersen terdapat kandungan seperti flavonoid, tannin serta saponin yang sangat efektif untuk mencegah perkembangan tumor.

3. Manfaat daun kersen untuk jantung

Manfaat lain daun kersen yaitu dapat menjaga fungsi otot jantung. Hal tersebut di buktikan dengan sebuah hasil penelitian yang menunjukkan bahwasannya kandungan dalam daun kersen dapat bekerja secara aktif untuk melindungi fungsi otot jantung.

4. Manfaat daun kersen untuk hipertensi

Daun kersen juga dapat di gunakan sebagai obat antihipertensi alami. Caranya yaitu dengan memuat minuman dari serbuk daun kersen dan di minum 2x sehari.

5. Manfaat daun kersen sebagai Antiinflamasi

Kandungan daun kersen juga sangat berkhasiat untuk mengurangi gejala radang dan juga inflamasi. Bahkan dapat menyembuhkan luka borok yang telah membusuk akibat dari infeksi menahun.

6. Manfaat daun kersen sebagai antiseptik alami

Sejumlah kandungan yang terdapat di dalam daun kersen seperti flavonoid, tannin dan juga saponin dapat menjadi antiseptik alamiah yang dapat membunuh berbagai mikroba serta bakteri yang merugikan bagi tubuh.

7. Manfaat daun kersen untuk Kolesterol

Manfaat daun kersen atau tarok lainnya adalah dapat mengatasi kolesterol tinggi yang mungkin kini tengah anda alami.

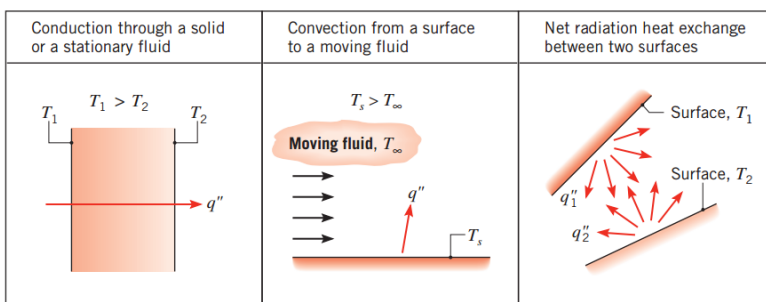
8. Manfaat daun kersen untuk asam urat

Selain buahnya, daunnya pun dapat di manfaatkan untuk mengobati gejala asam urat. Hal ini buktikan oleh Gatot yang merupakan seorang kakek berusia 63 tahun yang sembuh dari penyakit asam urat yang telah hampir 5 tahun ia derita dengan menggunakan daun kersen ini (di lansir dari tribun news jateng).

2.2 Pengertian Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi sebagai akibat dari adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas ini terjadi dari media yang memiliki temperatur tinggi menuju ke media yang bertemperatur rendah. Mekanisme terjadinya proses dan medium perpindahan panas tersebut, di bagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi

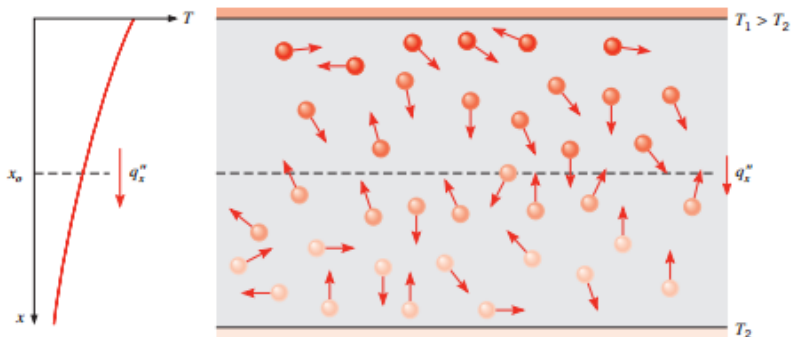


Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler. Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut.

Gambar 2.2 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika $T_1 > T_2$ maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut **diffusi energi**.



Gambar 2.4 Perpindahan Panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler

Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum)

Fourier. Pada gambar 1.3 jika $T_1 > T_2$ maka ada distribusi temperatur ke arah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \text{ dimana : } q = \text{laju perpindahan panas (W)}$$

Keterangan :

q_x'' : fluks panas (W/m^2) adalah laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif per unit kuasan yang tegak lurus arah perpindahan panas.

$\frac{dT}{dx}$: gradient temperatur

k : konduktivitas panas ($W/m^\circ K$) adalah karakteristik individu material dinding

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka:

$$q''_{cond} = -k \frac{\Delta T}{L}$$

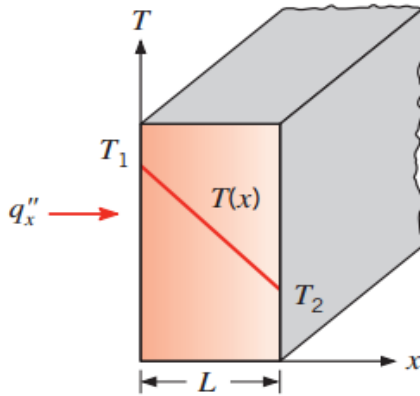
Dimana:

q''_{cond} = fluks perpindahan panas konduksi (W/m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

k = konduktivitas thermal ($W/m.^\circ K$)

L = jarak (m)

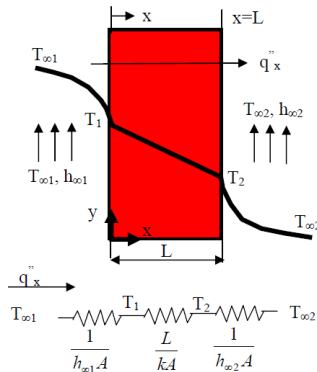


Gambar 2.5 Konduksi satu dimensi steady state

Dalam beberapa hal proses perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi pada bentuk:

- Dinding Datar

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu x, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah sumbu x saja.



Gambar 2.6 Perpindahan Panas pada Dinding Datar

Pada gambar diatas terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.

- Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur pada dinding dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan difusi panas berikut ini.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{dT}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{dT}{dz} \right) + q''$$

Untuk konduksi satu dimensi kearah sumbu x dan tanpa ada pembangkitan panas maka:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

Jika konduktivitas termal dinding dianggap konstan, lalu diintegalkan dua kali maka didapat solusi:

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

Konstanta C tersebut dicari dengan kondisi batas berikut ini:

$$T(x = 0) = T_1 \text{ dan } T(x = L) = T_2$$

Jadi : $T_1 = C_2$ dan $T_2 = C_1 L + C_2$ atau $T_2 = C_1 L + T_1$ sehingga diperoleh :

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Substitusi C_1 dan C_2 ke persamaan 1 dan 2 didapatkan :

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1 \text{ Fourier :}$$

Untuk menghitung laju perpindahan panas digunakan hukum

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -\frac{kA}{L} (T_2 - T_1)$$

- Hambatan Termal

Untuk kasus perpindahan panas seperti tersebut diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan perpindahan panas, serta beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur.

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{kA}$$

Sebaliknya laju perpindahan panas dapat ditulis :

$$q_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}}$$

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat hambatan perpindahan panas konveksi R_{konv} :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA}$$

Dan laju perpindahan panas konveksi ditulis :

$$q_{konv} = \frac{\Delta T}{R_{konv}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{konv}}$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju

perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, maka:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}}$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}}, \text{ dimana :}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}$$

R_{tot} disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (overall heat transfer resistant)

Persamaan 19) dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu :

$$q_x = UA\Delta T$$

$$UA = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}}$$

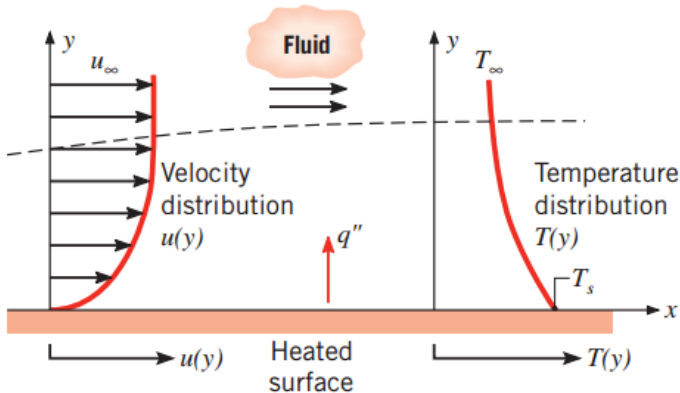
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\infty 2}}}$$

U disebut koefisien perpindahan panas keseluruhan.

2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (diffusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y=0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah

dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (kearah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol.



Gambar 2.7 Distribusi kecepatan dan distribusi temperatur

Laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$q''_{\text{konveksi}} = h(T_s - T_\infty)$$

Dimana:

q''_{conv} = fluks perpindahan panas konveksi (W/m^2)

h = koefisien konveksi (K)

T_s = temperatur permukaan (K)

T_∞ = temperatur fluida (K)

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti: pompa, fan/blower atau juga angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa. (forced convection). Jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis

fluida, (variasi massa jenis dihasilkan oleh adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah) maka disebut konveksi bebas atau konveksi alam.

Ditinjau dari gerakan fluidanya perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Konveksi Paksa

Disebut konveksi paksa (forced convection) apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor, dan lain-lain.

b. Konveksi alamiah atau konveksi bebas

Konveksi alamiah (natural convection) adalah aliran fluida yang terjadi semata-mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bebas ada dua yaitu :

- Korelasi Plat Vertical

Apabila plat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (no slip), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran-pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Grashof (Gr).

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

Dan *Rayleigh Number* (Ra_L)

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Dimana :

Pr = Bilangan Prandtl

g = Percepatan gravitasi, ($\frac{m}{s^2}$)

L = Panjang karakteristik, (m)

ν = Viskositas Kinematik, ($\frac{m^2}{s}$)

β = Koefisien Ekspansi Volume ($\frac{1}{T_f}$), (K^{-1})

α = Difusivitas Termal, ($\frac{m^2}{s}$)

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (Tf). Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number*.

- Untuk aliran laminar : $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(0,492/Pr\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

- Untuk aliran turbulen : $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(0,492/Pr\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

Dimana :

h = Koefisien perpindahan panas konveksi $\left(\frac{W}{m^2 \circ K}\right)$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = konduktifitas termal, $\left(\frac{W}{m \circ K}\right)$

L = Tinggi Dinding, (m)

- Korelasi pada Plat Horizontal

Nusselt Number rata-rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya.

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)

1. $\overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7)$

2. $\overline{Nu}_L = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}}, (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11})$

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

- $\overline{Nu}_L = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10})$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

Dimana :

h = Koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \circ K}\right)$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = Konduktivitas Termal, $\left(\frac{W}{m \circ K}\right)$

L = Panjang karakteristik, (m)

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang dan $0,9 D$ untuk cakram bola dengan diameter D .

$$L = \frac{A}{P} = \frac{w}{2}$$

Dimana :

L = Panjang karakteristik, (m)

A = Luas permukaan plat, (m^2)

P = Keliling Plat (perimeter), (m)

w = Lebar dinding, (m)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

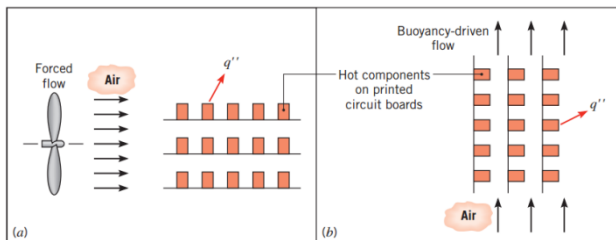
Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi, (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi, ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

T_s = Temperatur permukaan, ($^{\circ}C$)

T_∞ = Temperatur Fluida, ($^{\circ}C$)



Gambar 2.8 Perpindahan Panas Konveksi

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan : koefisien perpindahan panas konveksi akan bergantung dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah :

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana :

V = Kecepatan Fluida, $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = Panjang lintasan, (m)

ν = Viskositas kinematik, $\frac{m^2}{s}$

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho Cp}{k} = \frac{Cp\mu}{k}$$

Dimana :

ν = Viskositas kinematik, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Cp = Konstanta pans spesifik pada tekanan konstan, $\left(\frac{J}{kg^{\circ}K}\right)$

ρ = Density fluida, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

k = Konduktivitas Panas Fluida, $\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$

μ = Viskositas Absolute, $\left(\frac{kg}{s.m}\right)$

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai :

$$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{Kf}$$

Dimana :

$\overline{Nu_L}$ = Bilangan Nusselt

\bar{h} = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \circ K}\right)$

Kf = Konduktifitas Fluida, $\left(\frac{W}{m \circ K}\right)$

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara $\overline{Nu_L}$ dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya :

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

Keanalogisan antara perpindahan panas konveksi dan perpindahan massa konveksi menjadikan parameter-parameter untuk menghitung perpindahan massa konveksi.

Bilangan Sherwood didefinisikan sebagai :

$$\overline{Sh_L} = \frac{\bar{h}mL}{D_{AB}}$$

Dimana :

$\overline{Sh_L}$ = Bilangan Sherwood

$\bar{h}m$ = koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = Panjang karakteristik, (m)

$$D_{AB} = \text{Difusifitas massa fluida, } \left(\frac{m^2}{s}\right)$$

Bilangan Sherwood merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Schmidt (Sc).

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

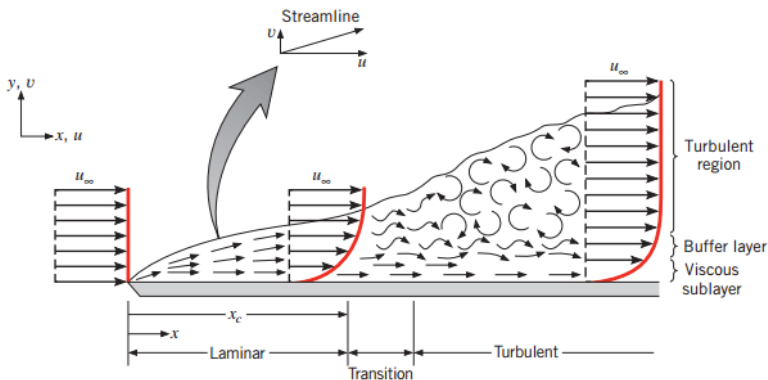
$$\overline{S_{hl}} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}}$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{S_{hl}} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Sc^{\frac{1}{3}}$$

2.3 Aliran Laminar dan Turbulen

Dalam memperlakukan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan aliran tersebut laminar atau turbulen. Gesekan permukaan dan laju perbedaan konveksi sangat tergantung pada keberadaan kondisi tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, ada perbedaan tajam antara kondisi laminar dan turbulen. Pada batas laminar, pergerakan fluida sangat teratur an memungkinkan untuk mengidentifikasi partikel-partikel memanjang pada garis *streamline*.



Gambar 2.9 Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar

Pergerakan fluida memanjang garis streamline dikarakteristikan oleh komponen kecepatan pada kedua arah x dan y . Karena komponen kecepatan V adalah normal pada permukaan, maka komponen tersebut dapat memberikan kontribusi yang cukup pada perpindahan momentum, energi, dan spesies melalui lapisan batas. Perpindahan fluida normal pada permukaan adalah diperlukan oleh pertumbuhan lapisan batas pada arah x .

Berbeda dengan pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dikarakteristik oleh fluktuasi kecepatan. Fluktuasi ini menambah perpindahan momentum, energi, dan spesies. Karena itu menambah laju perpindahan konveksi. Sebagai akibat hasil pencampuran dari fluktuasi, ketebalan lapisan batas turbulen adalah lebih besar dari profil lapisan batas kecepatan, lapisan batas temperatur, dan lapisan batas konsentrasi. Adalah lebih datar daripada lapisan laminar.

Kondisi ini digambarkan secara skematis pada gambar 2.9 Untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan batas mula-mula laminar, tetapi untuk suatu jarak dari ujung, transisi ke aliran turbulen mulai terjadi fluktuasi fluida untuk berkembang pada daerah transisi dan lapisan batas akhirnya menjadi turbulen penuh. Perpindahan menjadi turbulen diikuti oleh kenaikan yang cukup berarti pada ketebalan lapisan batas, tahanan geser dinding, dan koefisien konveksi.

Pada lapisan batas turbulen, tiga daerah berbeda dapat dilukiskan. Pada laminar sublayer, transport didominasi oleh difusi dan profil kecepatan adalah mendekati linier. Dan pada lapisan daerah turbulen transport didominasi oleh campuran turbulen.

Pada perhitungan sifat lapisan batas, sering digunakan untuk mengasumsikan bahwa transisi terjadi pada local X_c . Bilangan Reynold kritis adalah nilai dari (Re) pada transisi yang terjadi dan untuk aliran luar bilangan tersebut diketahui bervariasi

dari 10^5 sampai 3×10^6 , tergantung pada kekasaran permukaan. Asumsi umum untuk perhitungan lapisan batas diambil harga Reynold sebesar : $Re = 5 \times 10^5$. Bila bilangan Reynoldnya $< 5 \times 10^5$ disebut aliran laminar, $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$ disebut aliran transisi dan $Re > 5 \times 10^8$ disebut aliran turbulen.

2.3.1 Rapat Massa dan Volume Spesifik

Rapat massa (ρ) dari suatu fluida adalah massa yang mengisi satu satuan volume, sebaliknya volume spesifik (v) adalah volume yang diisi oleh satu satuan massa. Rapat massa dan volume spesifik saling berkaitan satu sama lain. Rapat massa udara pada tekanan atmosfer standar dengan suhu 25°C mendekati $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

2.3.2 Kalor Spesifik

Kalor spesifik dari suatu bahan bakar adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu satuan massa bahan tersebut sebesar 1°K . Dua besaran yang umum adalah kalor spesifik pada volume tetap (C_v) dan kalor spesifik pada tekanan konstan (C_p). Besaran yang kedua banyak dipakai pada proses pemanasan dan pendinginan.

2.3.3 Perpindahan Massa

Bentuk perpindahan masa secara garis besar dapat dibagi menjadi dua macam yaitu :

- Perpindahan massa secara konveksi
- Perpindahan massa yang diakibatkan oleh difusi

Perpindahan massa jenis umumnya sebagai akibat perbedaan konsentrasi komponen yang terdapat pada campuran. Gradien konsentrasi cenderung untuk menggerakkan komponen dengan arah sedemikian rupa agar dicapai keseimbangan konsentrasi dan menghilangkan gradien tersebut.

Walaupun difusi biasanya diakibatkan oleh gradien konsentrasi, didapat juga diakibatkan oleh perbedaan tekanan, temperatur, ataupun oleh paksaan dari luar. Difusi molekular yang timbul sebagai gradien tekanan, oleh temperatur tersebut disebut difusi termal dan oleh gaya luar disebut difusi paksa.

Difusi adalah aliran zat fisik, yang terjadi pada kecepatan yang terbatas. Komponen yang berdifusi umumnya meninggalkan ruang di belakangnya dan ruang baru harus ditentukan untuk lokasi barunya.

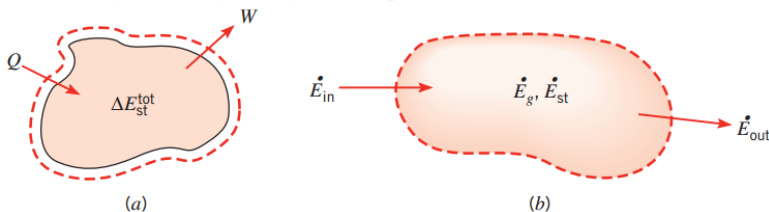
2.4 Kekekalan Energi

Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari termodinamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas Hukum I Termodinamika (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis.

2.4.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Dalam menganalisis perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi/material dengan mengacu pada hukum I termodinamika, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai :

Laju energi termal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam volume atur.



Gambar 2.10 Kekekalan energi volume atur

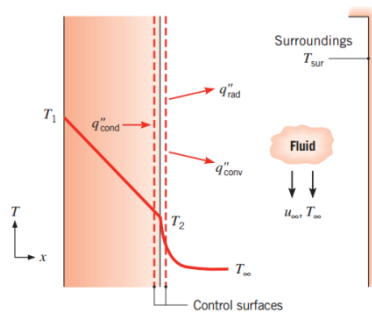
Notasi untuk energi yang masuk meninggalkan volume atur adalah E_{st} . Bentuk umum dari kekekalan energi dapat dinyatakan :

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st}$$

2.4.2 Kestimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka :

$$E_{in} = E_{out}$$



Gambar 2.11 Kekekalan energi permukaan sebuah media

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaan atur dengan basis persatuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaran radiasi netto dari permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas :

$$q''_{konduksi} - q''_{konveksi} - q''_{radiasi} = 0$$

2.5 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang akan terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*). Dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten (*latent heat*).

2.5.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur. Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

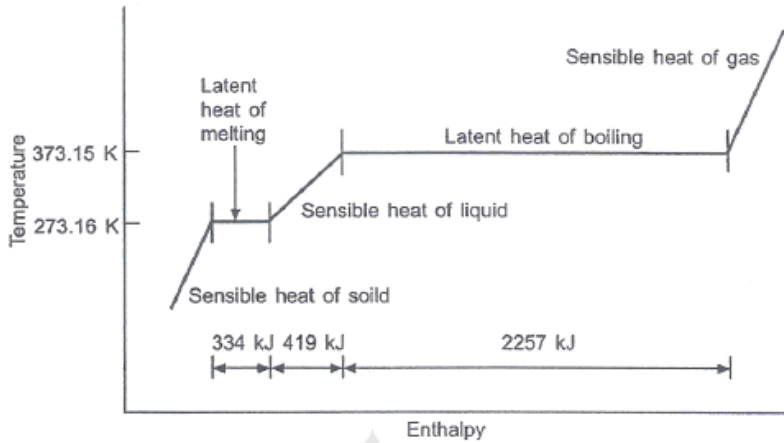
m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)

C_p = Kalor jenis zat ($\frac{J}{kg \cdot K}$)

ΔT = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

2.5.2 Kalor Laten (*Latent Heat*)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaan jenuhnya dan menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Kalor laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat.



Gambar 2.12 Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air

Secara Umum kalor laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan :

$$Q = m \cdot h_l$$

Dimana :

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

h_l = Kalor Laten (kJ/kg)

Jika udara mengalir melewati suatu permukaan basah, akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah tersebut akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara permukaan basah tersebut maka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat perbedaan tekanan antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan parsial uap air pada permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan massa uap air. Perpindahan massa ini

menyebabkan perpindahan panas juga, karena pada saat air mengembun, kalor laten harus dikeluarkan dari air tersebut. Sebaliknya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan pada air tersebut.

2.6 Proses Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada 2 golongan, yaitu:

1) Faktor yang berhubungan dengan udara pengering

Yang termasuk dalam golongan ini adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara pengering, dan kelembaban udara.

2) Faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan

Yang termasuk dalam golongan ini adalah ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan.

Pada pengeringan mekanisme ini, memerlukan energi untuk memanskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pengeringannya. Akan tetapi, pengeringan yang terlalu cepat kering. Sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pengeringan air bahan ke permukaan bahan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (hardening). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalangi permukaan bahan yang telah kering. Disamping itu pula penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak bahan.

- Tidak tergantung cuaca
- Mudah dikendalikan

- Tidak memerlukan tempat yang luas
- Kondisi pengeringan dapat dikendalikan

Proses pengeringan mekanis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

1. Pengeringan langsung/konveksi adalah bahan dikeringkan dengan cara mengeluarkan udara pengering melewati bahan
2. Pengeringan tidak langsung/konduksi adalah dinding panas yang bersentuhan dengan bahan yang akan dikeringkan secara konduksi.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu :

- Perpindahan panas dari luar ke bahan
- Perpindahan massa air dari permukaan bahan ke udara dan dari dalam bahan ke permukaan.

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu lebih melewati permukaan bahan secara konveksi ataupun oleh dinding panas secara konduksi dan panas ini akan menaikkan suhu permukaan dan menaikkan tekanan uap air permukaan. Sehingga terjadi perpindahan dalam bentuk uap air di dalam bahan berada dalam kesetimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar. Pada saat pengeringan dimulai, panas diberikan ke bahan akan menaikkan tekanan uap air terutama sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air sehingga terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bahan. Maka terjadi pergerakan air secara difusi dari dalam bahan ke permukaan bahan diulangi lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi kesetimbangan dengan udara sekitarnya.

Selama proses pengeringan terjadi perpindahan cairan (penguapan) dengan dua cara, yaitu ;

1. Perpindahan cairan dari dalam bahan ke permukaan (difusi uap). Gerakan cairan yang terjadi di dalam bahan menuju

permukaan karena adanya perbedaan konsentrasi. Dimana konsentrasi pada bagian dalam bahan lebih besar dari konsentrasi permukaan. Hal ini disebabkan oleh difusi uap. Dengan meninjau lapisan tipis gerakan uap air dari bahan ke permukaan dapat dicari persamaan Fick untuk difusi satu dimensi :

$$N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Y}$$

$$n_A'' = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial Y}$$

2. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering.
3. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering berlangsung secara konveksi. Laju perpindahan uap airnya dicari dengan persamaan :

$$N_A'' = h_m (C_{A,S} - C_{A,\infty})$$

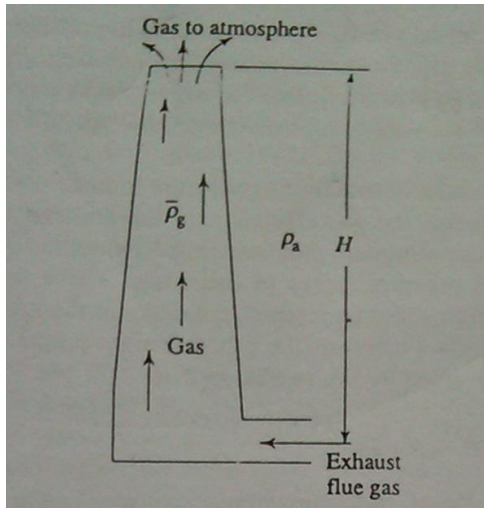
Dan laju perpindahan massa uap airnya dapat dicari dengan persamaan :

$$n_A'' = h_m (\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty})$$

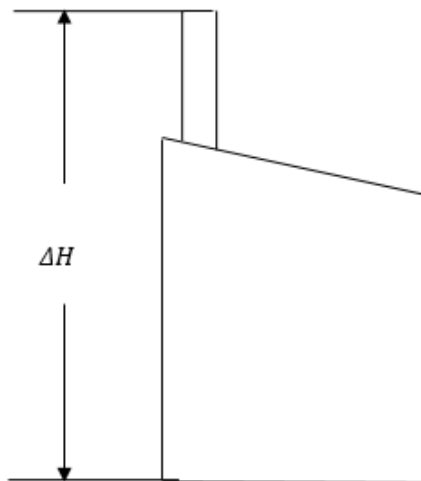
2.7 Natural Draft

Natural draft diproduksi dari cerobong asap. Itu terjadi dari perbedaan density antara udara atmosfer dengan uap panas di dalam cerobong asap. Untuk cerobong ketinggian H meter (Gambar 2.14) perbedaan rancangan atau tekanan (N / m^2) yang dihasilkan, diperoleh dari

$$\Delta P = gH (\rho_a - \bar{\rho}_g)$$



Gambar 2.13 Draft yang Dihasilkan dari Cerobong Asap



Correlation of carson dan moses

$$\Delta H = 2,26 \frac{Qe^{0,5}}{V_w} - 0,029 \frac{V_s \times D}{V_w}$$

$$\Delta H = 2,26 \frac{(\dot{m} \times cp (Ts - Ta))^{0,5}}{V_w} - 0,029 \frac{V_s \times D}{V_w}$$

$$\dot{m} = \frac{(\Delta H \times V_w + (0,029 \times V_s \times D))^2}{2,26 (cp \times (Ts - Ta))}$$

Dimana

V_s = Kecepatan luar gas dalam cerobong asap(m/s)

V_w = Kecepatan angin di luar cerobong asap(m/s)

Q_e = *Heat emission* (J/s)

= $m \times Cp \times (Ts - Ta)$

\dot{m} = massa jenis pada oven(kg/s)

Cp = *Specific heat of steam* = 1005 J/kg K *for dry air at low temperature*

T_s = Temperatur di luar cerobong asap, K

T_a = Temperatur atmosfer, K

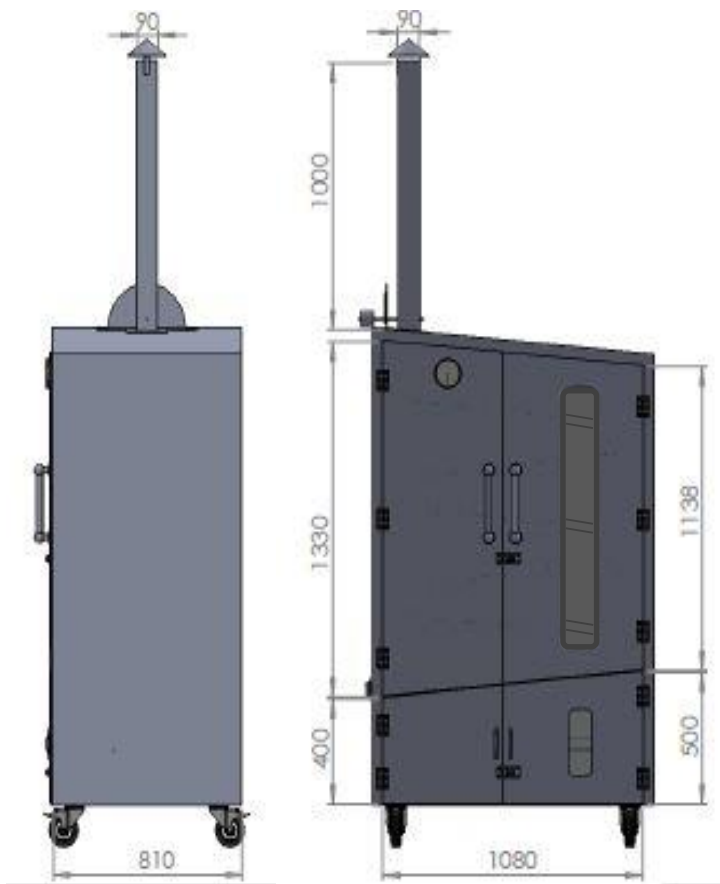
D = Diameter cerobong asap

Halaman ini sengaja dikosongkan

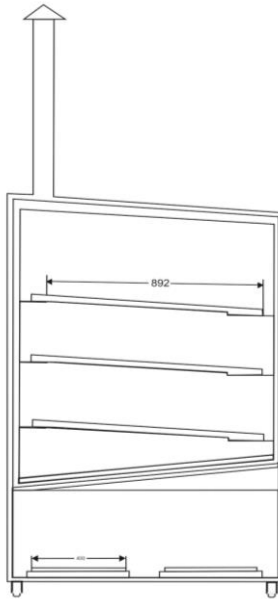
BAB III METODOLOGI

3.1 Fixasi Desain Alat dan Dimensi Alat

Berikut ini adalah desain 2D dari model oven :



Gambar 3.1 Gambar Tampak Depan dan Samping Oven
Pengering Daun Kersen



Gambar 3.2 Gambar Penampang Rak dan Ruang Bakar Oven
Pengering Daun Kersen

- Berikut ini spesifikasi dimensi dari oven :
- Dimensi model oven
 - Panjang = 117 cm = 1,17 m
 - Lebar = 81 cm = 0,81 m
 - Tinggi = 177,5 cm = 1,775 m
 - Ukuran cerobong
 - Panjang = 9 cm = 0,09 m
 - Lebar = 9 cm = 0,09 m
 - Tinggi = 100 cm = 1 m

$$A_v = (0,09 \times 0,09)m^2 = 0,0081m^2$$

- Data rak dan bak penampung
 Panjang = 89,5cm = 0,895m
 Lebar = 50cm = 0,5m

3.2 Persiapan Awal

- a) Penentuan tema awal Tugas Akhir mengenai pengeringan daun kersen
- b) Studi Literatur terhadap proses pengujian
- c) Penjadwalan dan persiapan terhadap pengujian bahan
- d) Menyiapkan daun kersen, dengan mengambil di belakang halaman parkir PPNS
- e) Menyiapkan alat-alat penunjang pengujian untuk pengambilan data seperti anemometer, tachometer, thermometer, timbangan digital, hygrometer dan wattmeter

3.3 Diagram Alir Tugas Akhir

Untuk selengkapnya langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat dari diagram alir berikut ini :

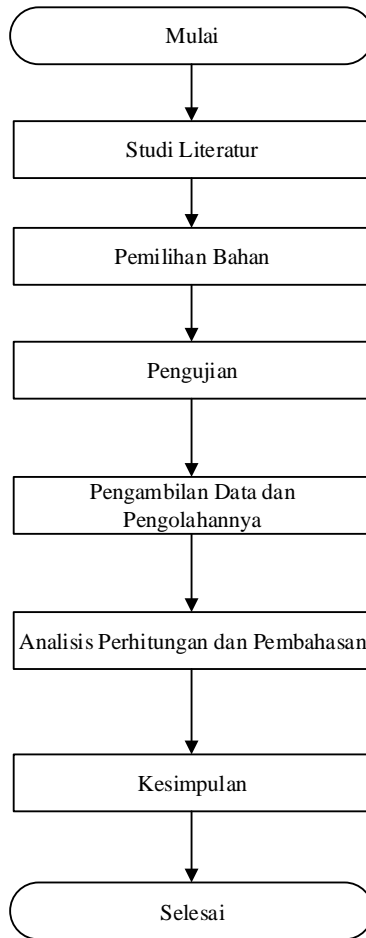
3.3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Pada pembahasan sub bab ini akan digambarkan mengenai alur proses pembuatan Tugas Akhir perencanaan ulang oven pengering Daun Kersen.

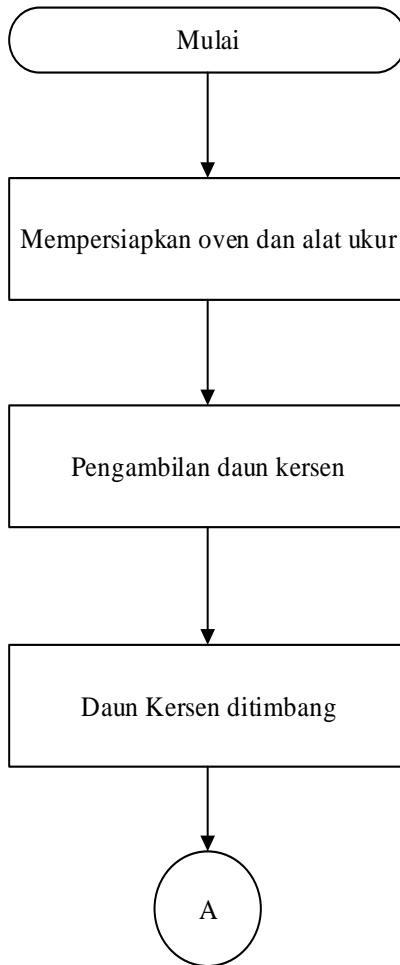
3.3.2 Diagram Alir Perhitungan Sistem

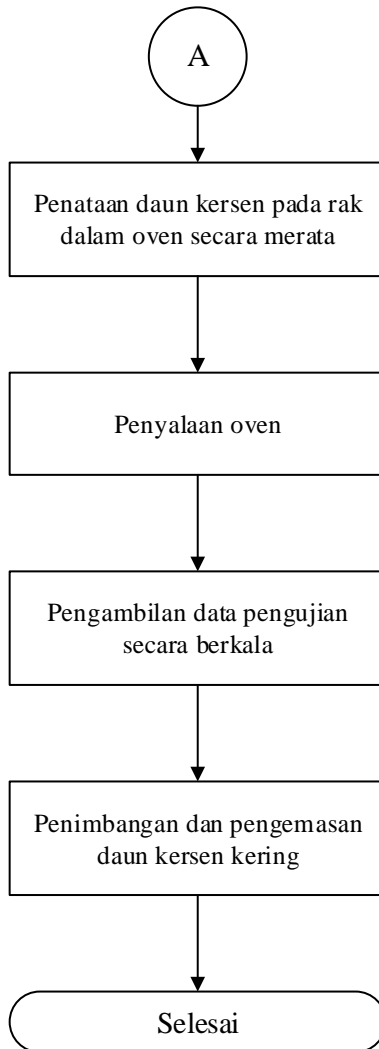
Pada pembahasan sub bab ini akan digambarkan mengenai alur perhitungan sistem oven sehingga

dihasilkan laju perpindahan panas yang diinginkan di ruang oven.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir





Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir

3.4 Prosedur Percobaan/Pengujian

3.4.1 Pengujian

Sebelum melakukan pengujian daun Kersen, batang daun terlebih dahulu dibuang karna memang tidak digunakan. Setelah itu daun - daun tersebut diratakan di lima rak yang tersedia, ditata secara acak yang penting tidak saling menumpuk antar daun. Selanjutnya mencolokkan steker ke stop kontak dan menaikkan tuas ON lalu menaikkan temperatur oven hingga 60°C. Setelah daun Kersen kering, turunkan tuas ke posisi OFF.



Gambar 3.5 Ruang Pemanas

3.4.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian

Dalam pengambilan data – data saat pengujian dibutuhkan beberapa peralatan ukur, diantaranya :

1. **Thermometer**, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur ruangan dalam oven. Thermometer yang digunakan dapat mengukur dari 0 hingga 300 °C dengan ketelitian 5 °C.



Gambar 3.6 Thermometer

2. **Anemometer**, alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang keluar dari dalam pengering ke udara bebas melalui cerobong udara di bagian atas oven. Selain itu dapat mengukur temperatur udara yang melewatinya. Anemometer yang digunakan dapat mengukur kecepatan dan temperatur dengan ketelitian 0,1.



Gambar 3.7 Anemometer

3. **Timbangan**, alat yang digunakan untuk mengukur berat bahan baik bahan sebelum pengeringan maupun bahan setelah menjadi kering, sehingga dapat menghitung persentase hilangnya

kandungan air dari sebelum pengeringan sehingga menjadi bahan kering. Timbangan digital yang digunakan dapat mengukur 0,005 kg hingga 30kg.



Gambar 3.8 Timbangan Digital

4. **Hygrometer**, alat yang digunakan untuk mengetahui persentase Relative Humidity (RH) dan temperatur basah ruangan. Higrometer yang digunakan dapat mengukur temperatur basah -50 – 70 °C dan persentase Relative Humidity (RH) dari 25 hingga 100 %.



Gambar 3.9 Hygrometer

5. **Tachometer**, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur sama halnya dengan termometer namun alat ini lebih praktis. Cara kerja alat ini adalah tinggal menekan tombol dan mengarahkan laser pada bidang yang ingin diukur temperaturnya, kemudian di layar panel akan keluar nilai temperaturnya. Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur permukaan daun kersen dan temperatur permukaan oven bagian dalam ataupun luar. Alat ini memiliki ketelitian 1 °C.



Gambar 3.10 Tachometer

6. **Wattmeter**, instrumen pengukur daya listrik yang pembacaannya dalam satuan watt di mana merupakan kombinasi voltmeter dan amperemeter. Dalam pengoperasiannya harus memperhatikan petunjuk yang ada pada *manual book* atau tabel yang tertera pada wattmeter. Demikian juga dalam hal pembacaannya harus mengacu pada *manual book* yang ada.



Gambar 3.11 Wattmeter

3.5 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan suatu pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya:

3.5.1 Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan bahan yang akan dikeringkan, yaitu daun Kersen yang telah dihilangkan batang daunnya.
2. Menimbang berat awal dari daun Kersen sebelum dikeringkan.
3. Mengatur letak dari daun Kersen pada rak agar tidak menumpuk beberapa bagian.
4. Menghubungkan kabel ke sumber listrik.
5. Memastikan oven telah menyala pada control box.
6. Menyiapkan seluruh alat ukur yang nantinya akan digunakan saat pengambilan data.
7. Meletakkan thermometer di rak agar dapat mengukur temperatur udara di dalam oven tiap tingkatan raknya.
8. Mengatur temperatur oven agar tetap pada temperatur yang diinginkan,



Gambar 3.12 Penataan Daun Kersen Pada Rak Dalam Oven



Gambar 3.13 Ruang Pengapian

3.5.2 Tahap Pengambilan Data

Dalam setiap pengujian yang penulis lakukan, yang menjadi patokan dalam mencari data – data adalah dengan patokan temperatur. Setelah di dapat temperatur rata – rata barulah pengambilan data dilakukan. Data – data tersebut diambil pada waktu interval tertentu. Kemudian untuk setiap pengujian yang perlu dicatat antara lain:

- Berat daun Kersen total sebelum dan sesudah pengujian
- Kecepatan aliran dan temperatur udara pada cerobong
- Temperatur permukaan daun Kersen di dalam oven
- Temperatur permukaan dinding oven luar maupun dalam
- Temperatur ruangan dalam oven
- Temperatur permukaan dinding luar dan dalam ruang bakar
- Persentase Relative Humidity (RH) di dalam dan diluar oven
- Durasi pengujian yang digunakan sampai daun Kersen menjadi kering

3.5.3 Tahap Setelah Pengujian

Tahapan ini yaitu membersihkan dan merapikan peralatan pengujian agar siap untuk digunakan kembali saat pengujian selanjutnya, diantaranya:

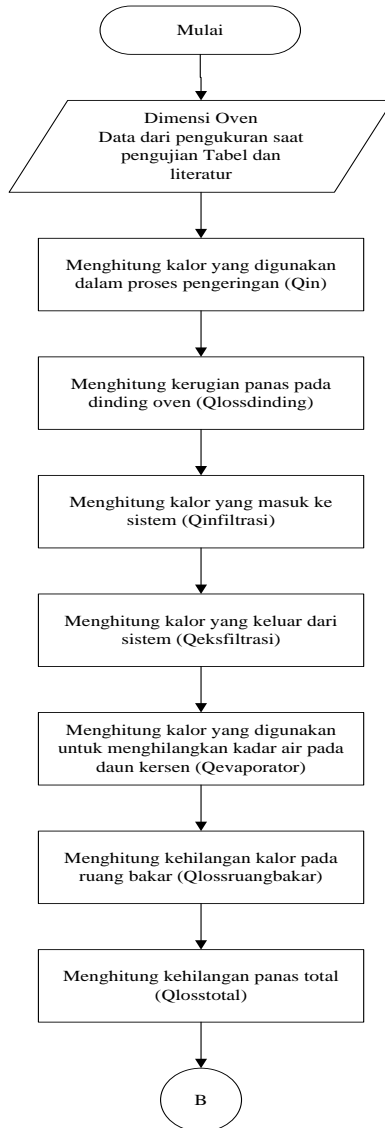
- Membersihkan oven dari sisa – sisa hasil pengujian sebelumnya
- Mematikan tuas oven pada control box
- Melepas kabel oven dari sumber listrik
- Mengemas dan menandai hasil pengujian agar tidak tertukar
- Merapikan seluruh alat ukur yang telah digunakan
- Membersihkan lingkungan sekitar tempat pengujian

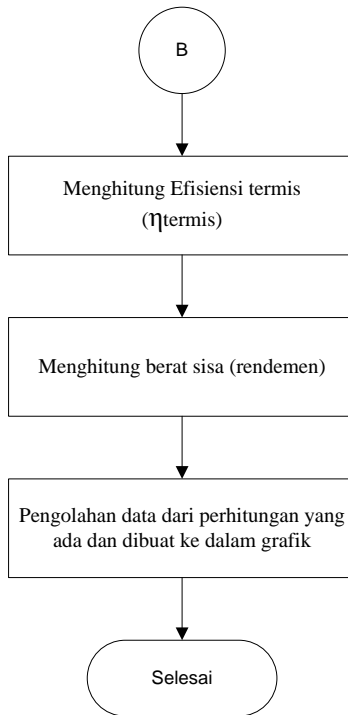
3.5.4 Tahap Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengujian dan diperoleh data – data dari hasil pengujian, kemudian dilakukan beberapa pengolahan data yang dimasukkan dalam suatu perhitungan di antaranya:

1. Menghitung panas yang masuk ke dalam sistem pengeringan (Q_{in}).
2. Menghitung kerugian panas (Q_{loss}) yang keluar menembus dinding dari pengering selama proses pengeringan bahan dan kerugian akibat adanya udara luar yang masuk ke sistem ($Q_{infiltrasi}$).
3. Menghitung besar panas yang keluar dari pengering melalui cerobong (Q_{out}).
4. Menghitung besar panas untuk menghilangkan kadar air daun Kersen (Q_{evap}).
5. Menghitung waktu pengeringan daun Kersen dari awal pengujian hingga kering atau akhir dari pengujian.
6. Menghitung persentase pengurangan berat daun Kersen setelah dikeringkan.

3.6 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir

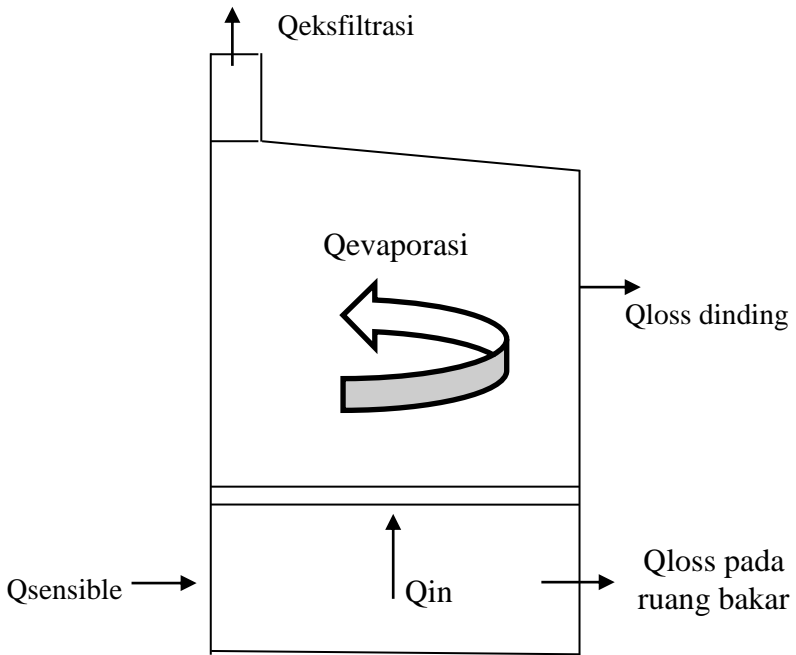




Gambar 3.14 Flow Chart Perhitungan Tugas Akhir

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Neraca Kalor pada Proses Pengeringan Dengan Oven



Gambar 4.1 Neraca Kalor pada Proses Pengeringan dengan oven

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$Q_{in} = Q_{evaporasi} + Q_{loss\ dinding\ (eksfiltrasi)} + Q_{loss\ ruang\ bakar} + Q_{out} + Q_{sensible}$$

4.2 Data Spesifikasi Alat

Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- Dimensi oven

Panjang	=	108cm	= 1,08m
Lebar	=	81 cm	= 0,81 m
Tinggi kanan	=	133cm	= 1,33m
Tinggi kiri	=	113,8cm	= 1,138 m
- Dimensi cerobong

Panjang	=	9 cm	= 0,09 m
Lebar	=	9 cm	= 0,09 m
Tinggi	=	100 cm	= 1 m

$$A_{cerobong} = (0,09 \times 0,09) m^2 = 0,0081 m^2$$
- Dimensi Ruang Bakar

Panjang	=	108 cm	= 1,08 m
Lebar	=	81 cm	= 0,81 m
Tinggi kanan	=	40 cm	= 0,4 m
Tinggi kiri	=	50 cm	= 0,5 m
- Data dinding
 - » Bahan Dinding
 1. Aluminium

Tebal (L_1)	= 0,15cm	= 0,0015m
Konduktivitas termal (k_1)		= 237 W/m ^{°K}
 2. Glass Wool (*cellular glass*)

Tebal (L_2)	= 3cm	= 0,03m
Konduktivitas termal (k_2)		= 0,058W/m ^{°K}
 3. Galvalume (depan)

Tebal (L_3)	= 0,1cm	= 0,001m
Konduktivitas termal (k_3)		= 166 W/m ^{°K}

- » Luas permukaan dinding oven tanpa ruang bakar
 1. bagian depan tanpa kaca (A_1) = $1,3327 \text{ m}^2$
 2. bagian belakang (A_2) = $1,0773 \text{ m}^2$
 3. bagian kanan (A_3) = $1,3327 \text{ m}^2$
 4. bagian kiri (A_4) = $0,9217 \text{ m}^2$
 5. bagian atas (A_5) = $0,8698 \text{ m}^2$

- » L Karakteristik pada dinding vertikal, diasumsikan sebagai panjang tertinggi pada tiap dinding oven, jadi:
 1. L depan, belakang, kanan = $1,33 \text{ m}$
 2. L kiri = $1,138 \text{ m}$
 3. L karakteristik pada dinding horizontal, menggunakan rumus :

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (1,08 \text{ m} \times 0,81 \text{ m})}{2 \times (1,08 + 0,81) \text{ m}} = 0,9257 \text{ m}$$

- Data rak dan bak penampung

Panjang	=	89 cm	=	0,89 m
Lebar	=	71,5 cm	=	0,715 m
Pegangan Rak	=	10,5 cm	=	0,105 m

- Data Bahan (Daun Kersen)
 Daun Kersen basah yang telah dipisahkan dari batangnya dengan berat 300 gram dengan temperatur 60°C .

4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan Q_{storage} pada ruang oven, yang didapat berdasarkan teori keseimbangan energi yaitu, $Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}}$. Dan dalam rancang bangun tugas akhir ini yang merupakan indikator Q_{in} ialah panas yang dihasilkan dari oven, sedangkan indikator dari Q_{out} ialah $Q_{\text{evaporasi}}$, $Q_{\text{loss total}}$, dan $Q_{\text{infiltrasi}}$.

4.3.1 Perhitungan Q_{loss} (W) pada jenis material yang digunakan

Material yang digunakan ialah plat galvalume dan cellular glass sebagai isolatornya. Berikut adalah proses perhitungan untuk mencari Q_{loss} pada jenis material yang digunakan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan *External Flow*.

- **Bagian Cerobong**

- ✓ Temperatur keluar cerobong = 52°C
- ✓ Kecepatan udara keluar cerobong = 0,97 m/s
- ✓ Properti-properti fluida
 Dari $T = 325^\circ\text{K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\rho = 1,0782 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 196,4 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$$

- ✓ Kecepatan udara saat keluar cerobong

$$\text{Re}_u = \frac{\rho_{\text{udara}} V_{\text{udara}} D_{\text{cerobong}}}{\mu}$$

$$= \frac{1,0782 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,97 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,09 \text{ m}}{196,4 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}}$$

$$= 4.792,609$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log 4.792,609$$

$$= 4,925$$

$$V = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$= \frac{2(4,925)^2}{((4,925)+1)(2(4,925)+1)} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 0,754 \frac{m}{s}$$

✓ *Mass Flow Rate*

$$\dot{m} = \rho c \times Vc \times Ac$$

$$= 1,0782 \frac{kg}{m^3} \times 0,754 \frac{m}{s} \times 0,0081 m^2$$

$$= 6,584 \times 10^{-3} kg/s$$

✓ Kecepatan fluida di dalam oven

$$\dot{m}_{keluar} = \dot{m}_{fluida \text{ di dalam oven}}$$

$$\rho_{out} \times V_{out} \times A_{cerobong} = \rho_{in} \times V_{in} \times A_{celah rak}$$

$$6,584 \times 10^{-3} kg/s = 1,0654 kg/m^3 \times V_{in} \times (0,89 \times 0,08) m^2$$

$$V_{in} = 0,086 \frac{m}{s}$$

• Bagian Dalam

✓ Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, dan belakang lapisan dalam.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{328,4 + 329,3}{2} = 328,85 K$$

✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 328,85 K$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\bar{\nu} = 18,7 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k = 28,3 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha = 26,76 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,703$$

$$\rho = 1,0654 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 198,21 \times 10^{-7} \frac{N.s}{m^2}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi Plat *Galvalum* dinding bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang Karakteristik
L= Tinggi Plat Vertikal = 1,33m

- ✓ Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned} R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{0,086 \frac{m}{s} \times 1,33 m}{18,7 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 6.116,5 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex}= 6116,5$, maka besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664 \times (6116,5)^{\frac{1}{2}} \times (0,703)^{\frac{1}{3}} \\ &= 46,18 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{46,18 \cdot 28,3 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,33 \text{ m}} \\
 &= 0,98 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik
 $L = \text{TinggiPlatVertikal} = 1,138 \text{ m}$

- ✓ Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned}
 R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,086 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1,138 \text{ m}}{18,7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 5233,582
 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*
 Dengan hasil nilai dari $R_{ex}=5233,582$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (5233,582)^{\frac{1}{2}} \times (0,703)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 42,7
 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan luar oven

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{42,7.28,3.10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,138 \text{ m}} \\
 &= 1,06 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik horizontal

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4x(1,17 \times 0,81)}{2x(1,117 + 0,8)} = 0,9257 \text{ m}$$

- ✓ Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned}
 R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,086 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,9257 \text{ m}}{18,7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 4257,22
 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex} = 4257,22$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (4257,22)^{\frac{1}{2}} \times (0,703)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 38,51
 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_3 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{38,51 \cdot 28,3 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,9257 \text{ m}} \\
 &= 1,177 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}
 \end{aligned}$$

• **Bagian Luar**

- ✓ Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{308,325 + 305}{2} = 306,6625 \text{ K}$$

- ✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 306,6625 \text{ K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \bar{\nu} &= 16,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\
 k &= 26,79 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \\
 \alpha &= 23,48 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\
 \text{Pr} &= 0,706 \\
 \rho &= 1,1392 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 \mu &= 187,7 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2} \\
 \beta &= \frac{1}{T_f} = \frac{1}{306,6625 \text{ K}} = 0,00326 \text{ K}^{-1} \\
 g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Aluminium* dinding bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik
L = Tinggi Plat Vertikal = 1,33 m

- ✓ Rayleigh Number (R_{aL})

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,00326 K^{-1} \cdot (308,325 - 305)K \cdot (1,33 m)^3}{16,5 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 23,48 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 3,65 \cdot 10^8$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 3,65 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (3,65 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7063}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 49,08$$

- ✓ Koefisien konveksi pada dinding kanan,depan,belakang bagian luar plat *Galvalume*

$$h_4 = \frac{Nu_L \cdot k}{L}$$

$$= \frac{49,08 \cdot 26,79 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,33 \text{ m}} = 0,98 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

5. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Aluminium* dinding bagian kiri lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,138 \text{ m}$$

- ✓ Rayleigh Number (R_{aL})

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00326 \text{ K}^{-1} \cdot (308,325 - 305) \text{ K} \cdot (1,138 \text{ m})^3}{16,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,48 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 4,02 \times 10^8$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 4,02 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (4,02 \times 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 73,56$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kiri lapisan luar oven

$$\begin{aligned} h_5 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\ &= \frac{73,56 \times 26,79 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{1,138 m} \\ &= 1,73 \frac{W}{m^2 \cdot K} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Aluminium* dinding bagian atas lapisan luar oven.

Untuk Bagian atas oven, perhitungan menggunakan *free convection* untuk plat horizontal dengan bagian bawah plat panas atau bagian atas plat dingin.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4x(1,17 \times 0,81)}{2x(1,117 + 0,8)} = 0,9257 m$$

- ✓ Rayleigh Number (R_{aL})

$$\cos \alpha = \cos 5 = 0,996$$

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,00326 K^{-1} \cdot (308,325 - 305)K \cdot (0,9257 m)^3}{16,5 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 23,48 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 2,17 \cdot 10^8 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 2,17 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $10^7 R_{aL} \leq 10^{11}$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{uL} &= 0,15 \cdot R_{aL}^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,52 \cdot (2,17 \cdot 10^8)^{\frac{1}{3}} \\ &= 89,56 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian atas lapisan luar oven

$$\begin{aligned} h_6 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\ &= \frac{89,56 \cdot 26,79 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{0,9257 \text{ m}} \\ &= 2,59 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka koefisien konveksi untuk setiap pengaturan ketinggian cerobong dapat diketahui.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Koefisien Konveksi

Kecepatan aliran udara di cerobong m/s	h1 W/m ² k	h2 W/m ² k	h3 W/m ² k	h4 W/m ² k	h5 W/m ² k	h6 W/m ² k
0,97	0,98	1,06	1,177	0,98	1,73	2,59
0,83	0,97	1,05	1,175	0,69	2,04	3,13
0,76	0,97	1,05	1,17	0,6	1,94	2,9
0,63	0,97	1,05	1,12	0,8	2,15	3,29
0,48	0,85	0,92	0,98	0,74	2,09	3,18

✓ Perhitungan kerugian panas pada oven:

1. Dinding bagian depan (Q_{loss1})

$$\begin{aligned}
 R_{tot1} &= \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \left(\frac{1}{0,9905} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{1,2358} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 1,968 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 Q_{loss1} &= \frac{\Delta T}{R_{tot1}} \times A_1 \\
 &= \frac{(308,325 - 305) ^\circ K \cdot W}{1,968 m^2 \cdot ^\circ K} \times 1,3327 m^2 \\
 &= 2,251 W
 \end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan (Q_{loss2})

$$R_{tot2} = R_{tot1}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{loss2} &= \frac{\Delta T}{R_{tot1}} \times A_2 \\
 &= \frac{(308,325 - 305) ^\circ K \cdot W}{1,968 m^2 \cdot ^\circ K} \times 1,0773 m^2 \\
 &= 1,82 W
 \end{aligned}$$

3. Dinding bagian belakang (Q_{loss3})

Karena hambatan sama dengan bagian depan, tetapi dimensi berbeda. Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q_{loss3} &= Q_{loss1} \\
 &= 2,251 W
 \end{aligned}$$

4. Dinding bagian kiri (Q_{loss4})

$$\begin{aligned}
R_{tot4} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_5} \\
&= \frac{1}{1,06} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{1,183} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
&= 2,03 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{loss4} &= \frac{\Delta T}{R_{tot4}} \times A_4 \\
&= \frac{(308,325 - 305) ^\circ K \cdot W}{2,03 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}} \times 0,9217 m^2 \\
&= 1,509 W
\end{aligned}$$

5. Dinding bagian atas (Q_{loss5})

$$\begin{aligned}
R_{tot5} &= \frac{1}{h_3} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_6} \\
&= \frac{1}{1,177} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{2,59} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
&= 1,76 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{loss5} &= \frac{\Delta T}{R_{tot5}} \times A_5 \\
&= \frac{(308,325 - 305) ^\circ K \cdot W}{1,76 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}} \times 0,8698 m^2 \\
&= 1,64 W
\end{aligned}$$

6. Semua Dinding Oven ($Q_{loss \text{ total}}$)

$$\begin{aligned}
Q_{loss \text{ tot}} &= Q_{loss1} + Q_{loss2} + Q_{loss3} + Q_{loss4} + Q_{loss5} \\
&= 9,474 W
\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Data Perhitungan Q loss dinding total

Kecepatan aliran udara di cerobong (m/s)	Q _{loss} dinding total (W)
0,97	9,474
0,83	12,591
0,76	17,561
0,63	13,521
0,48	8,253

4.3.2 Perhitungan Q_{sensibel}(W) yang Masuk ke Sistem✓ *Mass Flow Rate*

Temperatur lingkungan pada saat oven menyala sebesar 32°C, dari Tabel A4 didapatkan Cp = 1,0072 kJ/kg.K dan $\rho = 1,1448 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho \times V_{\text{cerobong}} \times A_{\text{cerobong}} \\
 &= 1,1448 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,97 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\
 &= 8,99 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sensibel}} &= \dot{m} \times C_p \times \Delta T \\
 &= 8,99 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \times 1,0072 \text{ kJ/kg.K} (329,3-305)\text{K.W} \\
 &= 253,53 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Data Perhitungan Q sensibel

Kecepatan aliran udara (m/s)	Q _{sensibel} (W)
0,97	253,53
0,83	252,74
0,76	251,05
0,63	250,02
0,48	244,17

4.3.3 Perhitungan $Q_{\text{eksfiltrasi}}$ (W) yang keluar melalui ventilasi

Dengan menggunakan anemometer, diketahui T_{udara} yang keluar dari ventilasi rata-ratanya adalah 52°C , dari Tabel A4 didapatkan $C_p = 1,008 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{eksfiltrasi}} &= \dot{m} \times C_p \times \Delta T \\ &= 8,99 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,008 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \times (325 - 305) \text{ K} \\ &= 181,238 \text{ W} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Data Perhitungan Qeksfiltasi

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	$Q_{\text{eksfiltrasi}}$ (W)
0,97	181,238
0,83	180,801
0,76	168,088
0,63	166,378
0,48	143,98

4.3.4 Perhitungan Laju Perpindahan Panas Untuk Menghilangkan Kadar Air Dalam Daun Kersen (Q_{evap})

Pada temperature permukaan kersen rata-ratanya adalah $54,23^{\circ}\text{C}$, maka sifat-sifat air pada suhu tersebut menurut Tabel A6 adalah :

$$h_{\text{fg}} = 2372,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Mass Flow Rate air daun kersen yang dikeringkan adalah :

$$\dot{m} = \frac{\text{Berat daun sebelum pengujian} - \text{berat daun setelah pengujian}}{\text{durasi pengujian}}$$

$$= \frac{(0,3 - 0,14)kg}{180 \text{ menit} \times 60s/1\text{menit}}$$

$$= 1,48 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{s}$$

Maka, Q_{evap}

$$\begin{aligned} Q_{\text{evap}} &= \dot{m} \times h_{fg} \\ &= 1,48 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{s} \times 2372,64 \frac{kJ}{kg} \\ &= 35,1150 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian dengan variasi beban, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.5 Data Perhitungan $Q_{\text{evaporasi}}$

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	$Q_{\text{evap}}(\text{W})$
0,97	35,1150
0,83	37,001
0,76	38,08
0,63	41,23
0,48	41,29

4.3.5 Perhitungan Q_{loss} (W) pada ruang bakar oven

Perhitungan kalor yang terbuang yang terdapat pada ruang bakar dihitung dengan menggunakan persamaan energy yang didapat dari neraca kalor.

- **Bagian Dalam**

Temperatur rata-rata antara temperature ruang bakar oven dan temperature surface plate bagian dalam.

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} = \frac{363,95 + 362,7}{2} = 363,325 \text{ K}$$

- ✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 363,325 \text{ K}$, maka dapat diketahui property fluida dari Appendix A.4 dari buku *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*, yaitu :

$$\begin{aligned}\bar{v} &= 22,38 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ k &= 31,0127 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \\ \alpha &= 32,1386 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ \text{Pr} &= 0,6973 \\ \rho &= 0,962 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \mu &= 186,724 \times 10^{-7} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \\ \beta &= \frac{1}{T_f} = \frac{1}{363,325 \text{ K}} = 2,75 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\end{aligned}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi dinding bagian kiri, depan, dan belakang lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Ruang Bakar} = 0,5 \text{ m}$$

- ✓ Kecepatan fluida di dalam oven

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 \times V_1 \times A_1 = \rho_2 \times V_2 \times A_2$$

$$8,99 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0,962 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times V_2 \times (0,0712) \text{ m}^2$$

$$V_{in} = 0,1314 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- ✓ Reynold Number (R_{ex})

$$R_{ex} = \frac{VL}{\nu}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,1314 \frac{m}{s} \times 0,5 m}{22,38 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 2935,6568
 \end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Re_x = 2935,6568$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Re_x < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (2935,6568)^{\frac{1}{2}} \times (0,6973)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 31,90
 \end{aligned}$$

✓ Koefisien konveksi pada bagian kiri,depan,belakang lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{31,90 \cdot 31,0127 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,5 m} \\
 &= 1,97 \text{ W/m}^2 \cdot K
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksidinding bagian kanan lapisan dalam oven.

✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Ruang Bakar} = 0,4 \text{ m}$$

✓ Reynold Number (Re_x)

$$\begin{aligned}
 Re_x &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,1314 \frac{m}{s} \times 0,4 m}{22,38 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}
 \end{aligned}$$

$$= 2348,525$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Re_x = 2348,525$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Re_x < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664 \times (2348,525)^{\frac{1}{2}} \times (0,6973)^{\frac{1}{3}} \\ &= 28,53 \end{aligned}$$

✓ Koefisien konveksi pada bagian kanan lapisan dalam oven :

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\ &= \frac{28,53 \cdot 31,0127 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,4 \text{ m}} \\ &= 2,21 \text{ W/m}^2 \cdot K \end{aligned}$$

• **Bagian Luar**

Temperatur rata-rata antara temperature ruang bakar oven dan temperature *surface plate* bagian luar.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{307,7 + 362,7}{2} = 335,2 \text{ K}$$

✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 335,2 \text{ K}$, maka dapat diketahui property fluida dari Appendix A.4 dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\begin{aligned} \bar{\nu} &= 19,4311 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ k &= 28,9048 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha &= 27,7096 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \\ Pr &= 0,7021 \\ \beta &= \frac{1}{T_f} = \frac{1}{335,2 \text{ K}} = 0,00298 \text{ K}^{-1} \\ g &= 9,81 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi dinding bagian kanan lapisan luar ruang bakar oven.

✓ Panjang karakteristik
L = Tinggi Plat Vertikal = 0,5 m

✓ Rayleigh Number (Ra_L)

$$\begin{aligned}Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,00298 \text{ K}^{-1} \cdot (362,7 - 307,7) \text{ K} \cdot (0,5 \text{ m})^3}{19,431 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 27,7096 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 3,71 \cdot 10^8\end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 3,71 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (3,71 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7021}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 57,827
 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada dinding kanan,depan,belakang bagian luar plat *Galvalume*

$$\begin{aligned}
 h_3 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{57,827 \cdot 28,9048 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,5 \text{ m}} \\
 &= 3,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 0,4 \text{ m}$$

- ✓ Rayleigh Number (R_{aL})

$$\begin{aligned}
 Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\
 &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00298 \text{ K}^{-1} \cdot (362,7 - 307,7) \text{ K} \cdot (0,4 \text{ m})^3}{19,4311 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 27,7096 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 189,45 \cdot 10^6
 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 189,45 \cdot 10^6$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (189,45 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7021}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 82,07 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kiri lapisan luar oven

$$\begin{aligned} h_4 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\ &= \frac{82,07 \cdot 28,9048 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0,4 m} \\ &= 5,93 \frac{W}{m^2 \cdot K} \end{aligned}$$

- ✓ Perhitungan Kerugian Panas pada :

1. Dinding bagian depan (Q_{loss1})

$$\begin{aligned} R_{tot1} &= \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}\right) + \frac{1}{h_3} \\ &= \frac{1}{1,97} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166}\right) + \frac{1}{3,34} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\ &= 1,137 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad Q_{loss_1} &= \frac{\Delta T}{R_{tot1}} \times A_{depan} \\
 &= \frac{(334 - 307,7) \text{ } ^\circ K \cdot W}{1,317 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,486 m^2 \\
 &= 9,7 W
 \end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan (Q_{loss2})

$$\begin{aligned}
 R_{tot2} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \frac{1}{2,21} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{5,93} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 1,137 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad Q_{loss_2} &= \frac{\Delta T}{R_{tot2}} \times A_{kanan} \\
 &= \frac{(334 - 307,7) \text{ } ^\circ K \cdot W}{1,137 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,324 m^2 \\
 &= 7,49 W
 \end{aligned}$$

3. Dinding bagian belakang (Q_{loss3})

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad Q_{loss_3} &= Q_{loss_1} \\
 &= 9,7 W
 \end{aligned}$$

4. Dinding bagian kiri (Q_{loss4})

$$\begin{aligned}
 R_{tot4} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \frac{1}{2,21} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{5,93} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$= 1,137 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{loss_4} &= \frac{\Delta T}{R_{tot_4}} \times A_{belakang} \\ &= \frac{(334 - 307,7) ^\circ K \cdot W}{1,137 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,405 m^2 \\ &= 9,36 W \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Data Perhitungan Q loss ruang bakar

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	Q _{loss} ruang bakar(W)
0,97	36,25
0,83	36,34
0,76	32,71
0,63	35,38
0,48	32,20

4.3.6 Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor Pada Oven

Setelah mendapat harga Q_{evap} dan Q_{in} maka didapat efisiensi sebesar,

$$\begin{aligned} \eta_{Oven} &= \frac{Q_{evaporasi} + Q_{sensible}}{Q_{in}} \\ &= \frac{35,1150 + 220,02}{1.815 Wattjam} \times 100\% \\ &= 46,85 \% \end{aligned}$$

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian dengan variasi waktu, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.7 Data Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor pada Oven dengan Variasi Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	Efektivitas oven(%)
0,97	46,85
0,83	31,23
0,76	29,12
0,63	27,63
0,48	26,34

4.3.7 Perhitungan Biaya yang Digunakan pada Proses Pengeringan

Setelah mendapat harga Q_{in} dan Efektivitas Oven, kemudian dapat menghitung biaya energy listrik yang digunakan selama proses pengeringan.

Dengan mengetahui waktu preheat = 150 menit dan waktu kerja oven = 180 menit kemudian juga perlu diketahui waktu oven bekerja = 15 menit dan waktu oven mengalami temperature drop = 30 menit.

$$H_{cycle} = \frac{t_{work}}{t_h + t_s}$$

$$= \frac{180}{15 + 30}$$

$$= 4 \times$$

Waktu total pemanasan :

$$\begin{aligned} t_{total \ heating} &= t_{heat} \times H_{cycle} \\ &= 15 \times 4 \\ &= 60 \text{ menit} \end{aligned}$$

Biaya Proses Pengujian :

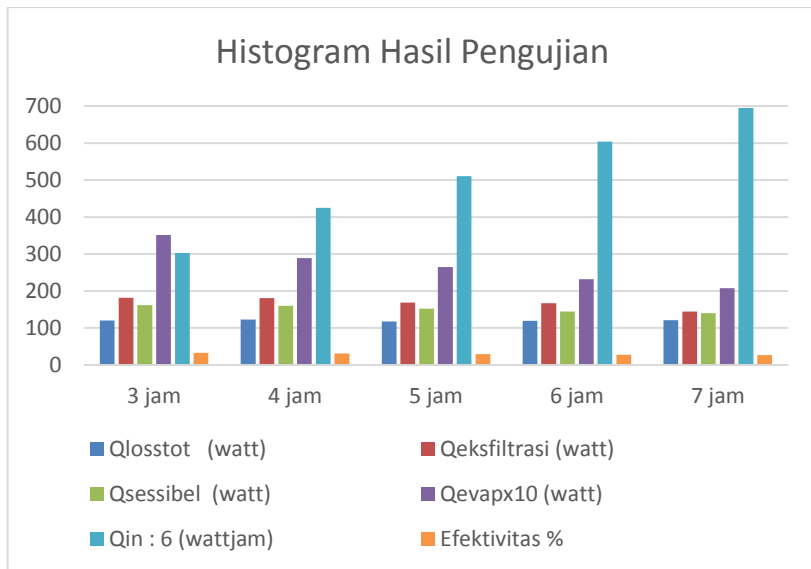
$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= Q_{in} \times \frac{\text{Rp. } 1467,28}{\text{KWH}} \times \frac{t_{\text{tot heat}} + t_{\text{preheat}}}{60 \text{ menit}} \times 1H \\
 &= 1,815 \text{ KW} \times \frac{\text{Rp. } 1467,28}{\text{KWH}} \times \frac{210 \text{ menit}}{60 \text{ menit}} \times 1H \\
 &= \text{Rp. } 9320,89
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Data Perhitungan Biaya yang dibutuhkan setiap Proses Pengeringan

Kecepatan aliran udara (m/s)	Biaya(Rp)
0,97	9320,89
0,83	13754,47
0,76	18720,42
0,63	23935,00
0,48	30281,69

Tabel 4.9 Hasil Pengujian dengan Variasi Kecepatan Aliran Udara Ventilasi

Variasi	Qlosstot (Watt)	Qeksfil (Watt)	Qsesn (Watt)	Qevap (Watt)	Qin : 6 (Wattjam)	Efktyts (%)
3 jam	45,724	181,238	253,53	35,11	302.5	46,85
4 jam	48,931	180,801	252,74	37,01	424.3	31,23
5 jam	50,271	168,088	251,05	38,08	510.3	29,12
6 jam	48,901	166,378	250,02	41,23	604.1	27,63
7 jam	40,453	143,981	244,17	41,29	695	26,34



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil uji analisis yang telah dilakukan, didapatkan alat pengering (oven) dengan dimensi yang sesuai yaitu 1,080 meter x 0,810 meter x 1,775 meter dan dirancang dengan rak yang tersusun miring sejajar disertai dengan baffle dari plat galvalum dan memiliki lubang ventilasi berupa cerobong dan laluan samping fluida panas guna pemerataan distribusi temperatur di setiap tingkat rak, dan menggunakan rumus pendekatan *External flow* (bagian dalam oven) dan *Free Convection* (bagian luar oven). Sedemikian hingga oven tersebut bekerja sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan.

Dari hasil pengujian pengeringan daun kersen, didapatkan suatu data sebagai berikut:

1. Berat daun kersen pada saat sebelum dikeringkan adalah 300 gram dan berat daun kersen setelah dikeringkan adalah 140 gram, kadar air yang hilang sebanyak 0,97%.
2. Kerugian panas (Q_{loss}) terbesar yaitu sebesar 50,271 W terdapat pada saat kecepatan udara 0,76 m/s, sedangkan kerugian panas (Q_{loss}) terkecil, yaitu sebesar 40,453 W terdapat pada saat kecepatan udara 0,48 m/s.
3. Kalor Penguapan (Q_{evap}) terbesar yaitu 41,29 W pada saat kecepatan udara 0,48 m/s dan (Q_{evap}) terkecil yaitu 35,115 W pada saat kecepatan udara 0,97 m/s.
4. Efektifitas Oven terbesar yaitu 46,85% didapat pada variasi kecepatan udara 0,97 m/s, sedangkan efisiensi oven terkecil yaitu 26,34 didapat pada saat kecepatan udara 0,48 m/s.
5. Biaya proses Pengeringan termahal terdapat pada variasi kecepatan udara 0,83 m/s yaitu Rp 9731,46, sedangkan biaya proses pengeringan termurah terdapat pada variasi kecepatan udara 0,48 m/s yaitu Rp 8725,35

Jadi, semakin besar kecepatan udara yang keluar dari cerobong, maka akan semakin besar kerugian panas yang didapat, tetapi menghasilkan kalor penguapan lebih kecil dan mendapat pengurangan massa lebih besar, namun membutuhkan durasi pengeringan lebih lama.

5.2 Saran

Pengeringan daun kelor dapat ditinjau dari aspek-aspek seperti besar luasan daun dan kadar air pada daun kelor tersebut. Bila kedua aspek tersebut ada pada daun maka proses pengeringan akan membutuhkan tambahan waktu agar hasil pengeringan sesuai.

Kekurangan pada oven ini antara lain :

1. Diperlukan pengecilan dimensi ruang pemanas pada oven pengering, tujuannya mempercepat proses pemanasan dan mengurangi kerugian panas yang keluar melalui dinding-dinding ruang bakar.
2. Ukuran dari dimensi baffle pada oven sebaiknya dirancang khusus untuk daun kersen, sehingga peletakkan dalam baffle bisa lebih banyak dan tidak terjatuh dibawah baffle.
3. Menutup *clearance* yang tidak tertutup oleh rak penyimpanan di dalam ruang oven, agar aliran fluida di dalam ruang oven sesuai dengan bentuk yang diinginkan.
4. Membuat sensor untuk mengetahui kadar air dalam produk, untuk memudahkan identifikasi selesainya proses pengeringan.
5. Perlu dilakukan pengujian kembali dengan *range* variasi yang lebih banyak, hingga diperoleh titik puncak (*pick point*) dari nilai efektifitas oven.
6. Melakukan eksperimen dan simulasi distribusi temperature variasi bukaan *gate valve* pada ruang oven, agar tiap tingkatan pada ruang oven memiliki temperature yang sama

Lampiran 1

Tabel Konversi Satuan

<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Area	1 in ²	6.452 cm ²
	1 ft ²	0.0929 m ²
Density	1 slug/ft ³	515 kg/m ³
Energy	1 ft · lb	1.356 J
Flow-rate	1 ft ³ /s	0.0284 m ³ /s
	1 gpm	0.06309 Lps
Force	1 lb	4.448 N
Length	1 ft	0.3048 m
	1 in	2.540 cm
Mass	1 slug	14.59 kg
Power	1 ft · lb/s	1.356 W
	1 hp	745.7 W
	1 Btu/min	0.0176 kW
Pressure	1 psi	6895 Pa
	1 psi	0.06895 bars
	1 standard atmosphere (14.7 psia)	101.3 kPa abs
Specific weight	1 lb/ft ³	157 N/m ³
Velocity	1 ft/s	0.3048 m/s
Viscosity (absolute)	1 lb · s/ft ²	47.88 Pa · s
<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Viscosity (kinematic)	1 ft ² /s	0.0929 m ² /s
Volume	1 in ³	16.39 cm ³
	1 gal	3.785 L
<i>Parameter</i>	<i>First English Unit</i>	<i>Second English Unit</i>
Energy	1 Btu	778 ft · lb
Flow-rate	1 ft ³ /s	449 gpm
Power	1 hp	550 ft · lb/s
	1 hp	42.4 Btu/min
Velocity (angular)	1 rpm	0.1047 rad/s
Volume	1 gal	231 in ³
	1 gal	0.135 ft ³

<i>Parameter</i>	<i>First Metric Unit</i>	<i>Second Metric Unit</i>
Force	1 N	10^5 dyn
Pressure	1 bar	10^5 Pa
Velocity (ang.)	1 rpm	0.1047 rad/s
Viscosity (abs.)	$1 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	10 poise
	1 poise	$1 \text{ dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$
Viscosity (kin.)	$1 \text{ m}^2/\text{s}$	10,000 stokes
	1 stoke	$1 \text{ cm}^2/\text{s}$
Volume	1 m^3	1000 L
	1 cm^3	0.001 L

Temperature Conversions

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(\text{K}) \quad T(\text{K}) = \frac{T(^{\circ}\text{R})}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 460 \quad T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Lampiran 2

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	Properties at Various Temperatures (K)													
		Properties at 300 K				$k (W/m \cdot K)/c_p (J/kg \cdot K)$									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminum															
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218					
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186						
						473	787	925	1042						
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185						
Beryllium															
	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7			
						203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519		
Bismuth															
	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04							
						112	120	127							
Boron															
	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85				
						128	600	1463	1892	2160	2338				
Cadmium															
	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7							
						198	222	242							
Chromium															
	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	
						192	384	484	542	581	616	682	779	937	
Cobalt															
	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5		
						236	379	450	503	550	628	733	674		
Copper															
Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339			
						252	356	397	417	433	451	480			
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14		42	52	59						
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		785	460	545						
						41	65	74							
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149						
							360	395	425						
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19								
						237	362								
Germanium															
	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4			
						190	290	337	348	357	375	395			

Lampiran 3

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

TABLE A.3 *Continued*

Insulating Materials and Systems

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m·K)	Specific Heat, c_p (J/kg·K)
Blanket and Batt			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated; duct liner	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formed/Foamed-in-Place			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic; sprayed or troweled	—	0.100	—
Urethane, two-part mixture; rigid foam	70	0.026	1045
Reflective			
Aluminum foil separating fluffy glass mats; 10–12 layers, evacuated; for cryogenic applications (150 K)	40	0.00016	—
Aluminum foil and glass paper laminate; 75–150 layers; evacuated; for cryogenic application (150 K)	120	0.000017	—
Typical silica powder, evacuated	160	0.0017	—

Lampiran 4

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^5$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Lampiran 5

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vapor- ization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coeffi- cient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temper- ature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430

Lampiran 6

TABLE A.8 Binary Diffusion Coefficients at One Atmosphere^{a,b}

Substance A	Substance B	T (K)	D _{AB} (m ² /s)
Gases			
NH ₃	Air	298	0.28×10^{-4}
H ₂ O	Air	298	0.26×10^{-4}
CO ₂	Air	298	0.16×10^{-4}
H ₂	Air	298	0.41×10^{-4}
O ₂	Air	298	0.21×10^{-4}
Acetone	Air	273	0.11×10^{-4}
Benzene	Air	298	0.88×10^{-5}
Naphthalene	Air	300	0.62×10^{-5}
Ar	N ₂	293	0.19×10^{-4}
H ₂	O ₂	273	0.70×10^{-4}
H ₂	N ₂	273	0.68×10^{-4}
H ₂	CO ₂	273	0.55×10^{-4}
CO ₂	N ₂	293	0.16×10^{-4}
CO ₂	O ₂	273	0.14×10^{-4}
O ₂	N ₂	273	0.18×10^{-4}
Dilute Solutions			
Caffeine	H ₂ O	298	0.63×10^{-9}
Ethanol	H ₂ O	298	0.12×10^{-8}
Glucose	H ₂ O	298	0.69×10^{-9}
Glycerol	H ₂ O	298	0.94×10^{-9}
Acetone	H ₂ O	298	0.13×10^{-8}
CO ₂	H ₂ O	298	0.20×10^{-8}
O ₂	H ₂ O	298	0.24×10^{-8}
H ₂	H ₂ O	298	0.63×10^{-8}
N ₂	H ₂ O	298	0.26×10^{-8}
Solids			
O ₂	Rubber	298	0.21×10^{-9}
N ₂	Rubber	298	0.15×10^{-9}
CO ₂	Rubber	298	0.11×10^{-9}
He	SiO ₂	293	0.4×10^{-13}
H ₂	Fe	293	0.26×10^{-12}
Cd	Cu	293	0.27×10^{-18}
Al	Cu	293	0.13×10^{-33}

^aAdapted with permission from References 24, 25, and 26.

^bAssuming ideal gas behavior, the pressure and temperature dependence of the diffusion coefficient for a binary mixture of gases may be estimated from the relation

$$D_{AB} \propto p^{-1} T^{3/2}$$

Lampiran 7

Section: Appendix A
Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels

Fuels	Lower Heating Value (LHV) [1]			Higher Heating Value (HHV) [1]			Density
	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/lb
Gaseous Fuels @ 32 F and 1 atm							
Natural gas	983	20,267	47,141	1089	22,453	52,225	22.0
Hydrogen	290	51,682	120,21	343	61,127	142,18	2.55
Still gas (in refineries)	1458	20,163	46,898	1,584	21,905	50,951	32.8
Liquid Fuels							
Crude oil	129,670	18,352	42,686	138,350	19,580	45,543	3.205
Conventional gasoline	116,090	18,679	43,448	124,340	20,007	46,536	2.819
Reformulated or low-sulfur gasoline	113,602	18,211	42,358	121,848	19,533	45,433	2.830
CA reformulated gasoline	113,927	18,272	42,500	122,174	19,595	45,577	2.828
U.S. conventional diesel	128,450	18,397	42,791	137,380	19,676	45,766	3.167
Low-sulfur diesel	129,488	18,320	42,612	138,490	19,594	45,575	3.206
Petroleum naphtha	116,920	19,320	44,938	125,080	20,669	48,075	2.745
NG-based FT naphtha	111,520	19,081	44,383	119,740	20,488	47,654	2.651
Residual oil	140,353	16,968	39,466	150,110	18,147	42,210	3.752
Methanol	57,250	8,639	20,094	65,200	9,838	22,884	3.006
Ethanol	76,330	11,587	26,952	84,530	12,832	29,847	2.988
Butanol	99,837	14,775	34,366	108,458	16,051	37,334	3.065
Acetone	83,127	12,721	29,589	89,511	13,698	31,862	2.964
E-Diesel Additives	116,090	18,679	43,448	124,340	20,007	46,536	2.819
Liquefied petroleum gas (LPG)	84,950	20,038	46,607	91,410	21,561	50,152	1.923
Liquefied natural gas (LNG)	74,720	20,908	48,632	84,820	23,734	55,206	1.621
Dimethyl ether (DME)	68,930	12,417	28,882	75,610	13,620	31,681	2.518
Dimethoxy methane (DMM)	72,200	10,061	23,402	79,197	11,036	25,670	3.255
Methyl ester (biodiesel, BD)	119,550	16,134	37,528	127,960	17,269	40,168	3.381
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	123,670	18,593	43,247	130,030	19,549	45,471	3.017
Renewable Diesel I (SuperCetane)	117,059	18,729	43,563	125,294	20,047	46,628	2.835
Renewable Diesel II (UOP-HDO)	122,887	18,908	43,979	130,817	20,128	46,817	2.948
Renewable Gasoline	115,983	18,590	43,239	124,230	19,911	46,314	2.830
Liquid Hydrogen	30,500	51,621	120,07	36,020	60,964	141,80	268
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	93,540	15,094	35,108	101,130	16,319	37,957	2.811
Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	96,720	15,613	36,315	104,530	16,873	39,247	2.810
Tertiary amyl methyl ether (TAME)	100,480	15,646	36,392	108,570	16,906	39,322	2.913
Butane	94,970	19,466	45,277	103,220	21,157	49,210	2.213
Isobutane	90,060	19,287	44,862	98,560	21,108	49,096	2.118
Isobutylene	95,720	19,271	44,824	103,010	20,739	48,238	2.253
Propane	84,250	19,904	46,296	91,420	21,597	50,235	1.920
Solid Fuels							
Coal (wet basis) [6]	19,546,300	9,773	22,732	20,608,570	10,304	23,968	
Bituminous coal (wet basis) [7]	22,460,600	11,230	26,122	23,445,900	11,723	27,267	
Coking coal (wet basis)	24,600,497	12,300	28,610	25,679,670	12,840	29,865	
Farmed trees (dry basis)	16,811,000	8,406	19,551	17,703,170	8,852	20,589	
Herbaceous biomass (dry basis)	14,797,555	7,399	17,209	15,582,870	7,791	18,123	
Corn stover (dry basis)	14,075,990	7,038	16,370	14,974,460	7,487	17,415	
Forest residue (dry basis)	13,243,490	6,622	15,402	14,164,160	7,082	16,473	
Sugar cane bagasse	12,947,318	6,474	15,058	14,062,678	7,031	16,355	
Petroleum coke	25,370,000	12,685	29,505	26,920,000	13,460	31,308	

Source:

GREET, The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use In Transportation Model, GREET 1.8d.1, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released August 26, 2010.
<http://greet.es.anl.gov/>

DAFTAR PUSTAKA

1. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., dan Dewitt D.P. 2011. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition**. John Wiley & sons, inc.
2. Pritchard, Philip J. 2011. **Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition**. John Wiley & sons, inc.
3. Cengel, A. Yunus., dan Turner, Robert H. 2003. **Heat Transfer A practical Approach**. McGraw-Hill Companies, Inc.
4. Pritchard, Philip J. 2011. **Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition**. John Wiley & sons, inc.
5. Sholeh H, Rahmat. 2014. **Tugas Akhir Perencanaan Ulang Oven Untuk Proses Pengeringan Temulawak Dengan Sumber Panas LPG**.
6. Chy Ana, Agustus. 2015. **Manfaat.co.id : Daun Kersen: 15 Manfaat Buah Kersen Untuk Kesehatan**,
<URL:<http://manfaat.co.id/15-manfaat-buah-kersen-untuk-kesehatan>>.
7. Nida Saripah. 2016. **Khasiat dan Manfaat Daun Kersen Yang Luar Biasa Bagi Kesehatan**,
<URL:<https://www.aryanto.id/artikel/id/714/khasiat-dan-manfaat-daun-kersen-yang-luar-biasa-bagi-kesehatan>>

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 5 Februari 1996, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bambang Wijayanto dan Ninik Artiningsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Manukan Kulon Kawasan, SMPN 25 Surabaya dan SMAN 11 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2014, Penulis melanjutkan pendidikannya di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS dan Konversi Energi adalah bidang studi yang dipilih penulis. Selama duduk di bangkus kuliah penulis aktif mengikuti organisasi dan kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik, yaitu menjadi Asisten Laboratorium Proses Manufaktur D3 Teknik Mesin (2015-2016), Divisi Sponsorship dan Media Team Mobil Listrik Nogogeni ITS, Pemandu LKMM ITS, Pers Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri ITS (2015-2016), dan staff Riset dan Teknologi HMDM FTI-ITS (2015-2016).

Selain mengikuti organisasi dan kegiatan, penulis aktif mengikuti pelatihan keprofesian dan pengembangan diri. Pelatihan intra kampus yang pernah diikuti penulis yaitu LKMM Pra-TD FTI-ITS, LKMM TD VII HMDM FTI-ITS, PMB HMDM, PKTI HMDM FTI-ITS, PJTD HMDM FTI-ITS, PJTL FTI-ITS, dan Pekil FTI-ITS, sedangkan pelatihan keahlian yang pernah diikuti yaitu Autodesk Fusion 360 (Basic), ISO 9001. Selain pelatihan, penulis juga mengikuti beberapa lomba diantaranya *Waterbike Competition*, Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan karya tulis tingkat fakultas, institut maupun tingkat nasional. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Dirgantara Indonesia (Persero), Bandung, Jawa Barat.